

DAUR ULANG AIR LIMBAH (WATER RECYCLE) DITINJAU DARI ASPEK TEKNOLOGI, LINGKUNGAN DAN EKONOMI

Oleh :
Nusa Idaman Said

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Abstract

In line with fast growth of populations in urban area the discharged waste water from daily activities have caused contamination of ground water and also surface water. Unbalance between distribution of source and usage of water have caused unbalance between supply and demand. Therefore, new innovation in the case supply of raw water has come to important attention. One of the alternatives which getting much attention in many state in world is to use recycle wastewater especially municipal wastewater as one source of raw water for water supply

Several things which need to be paid attention in the case of usage of recycle wastewater are consistency of the treated water quality as according to enabled condition. In usage of recycle wastewater to be used as clean water supply there is several categorize of contaminant which must be paid attention peculiarly namely for example organic contaminant including pesticide, pathogenic bacteria, parasite, virus and also heavy metal contaminant for example mercury, lead, chrome, cadmium etc. Therefore the treatment process must be done neglectlessly with control of quality which able to be justified.

One of the concept for processing of urban wastewater to be made clean water is use combination of primary treatment, secondary treatment with biological process continued by advanced treatment by physico-chemical process for example covering clarification process, nutrient removal, recarbonation, filtration, adsorption with activated carbon, ion exchange process, and also demineralization with process of reverse osmosis and also ozonization and chlorination. With these processes combination can treat wastewater yield treated water with quality of as drinking water.

This paper explained some example of wastewater treatment process for recycle wastewater which have been applicated in some state. One of the example of wastewater recycle process using combination of biological process continued with ultra filtration process, reverse osmosis process, and disinfection by ultraviolet, and also pH control such as those which have been conducted by NEWATER Factory, Singapore.

Kata Kunci : Daur ulang, air limbah, teknologi, lingkungan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Kondisi Air Dunia Dan Indonesia

World Resources Institute (USA) memperkirakan bahwa 41.000 km³ air per tahun mengalir dari daratan ke lautan. Sebaliknya atmosfer mengangkut uap air dari laut ke daratan. Sebanyak 27.000 km³ kembali lagi ke laut sebagai limpasan banjir yang tidak dapat ditangkap, 5000 km³ melalui area yang tidak berpenghuni dan kembali ke laut. Dari 41.000 km³ air yang kembali laut tersebut sejumlah tertentu tertahan di daratan yaitu terserap oleh tanaman yang jumlahnya belum dapat diketahui secara pasti. Secara garis besar siklus air di bumi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

Dari siklus ini terdapat lebih kurang 9.000 km³ air tawar yang siap digunakan oleh manusia di bumi. Jumlah ini cukup besar dan secara teori

cukup untuk penyediaan air bagi 20 miliar manusia. Ditinjau dari segi kuantitas atau jumlahnya, hal tersebut mungkin dapat mencukupi seluruh kebutuhan manusia di bumi tetapi jika ditinjau dari segi kualitasnya maka jumlah air yang kualitasnya baik makin sulit ditemukan. Bahkan banyak pakar yang berpendapat bahwa pada masa-masa mendatang nanti air tawar akan menjadi barang yang langka. Selain itu karena penduduk dan air tawar yang tersedia di bumi tidak terdistribusi secara merata, maka terdapat wilayah yang kekurangan air dan wilayah yang kelebihan air.

Jumlah pemakaian air berbeda antara satu wilayah atau negara dengan wilayah atau negara lainnya, tetapi pemakaian air yang bterbayak adalah untuk keperluan pertanian. Secara global 73 % air tawar yang diperoleh di bumi digunakan untuk keperluan pertanian. Hampir 3 juta km² dari daratan di bumi ini telah

memperoleh irigasi dan setiap tahunnya bertambah sekitar 8 %.

Sebagian besar air di bumi (97,4%) berupa air laut, dan hanya 2,59 % berupa air tawar. Dari jumlah tersebut hanya 0,14% dari total jumlah air di bumi yang dengan segera dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Persentase distribusi air di bumi secara umum ditunjukkan seperti pada Gambar 2.

Masalah yang timbul dari terlalu banyak irigasi adalah salinisasi (penimbunan garam-garam). Apabila air menguap atau terserap oleh tanaman, garam-garam akan tertinggal dalam tanah, dan jika laju pengendapan melebihi laju penghanyutan oleh aliran maka garam-garam ini akan terakumulasi. Akhir-akhir ini lebih dari satu juta hektar lahan per tahun mengalami salinisasi.

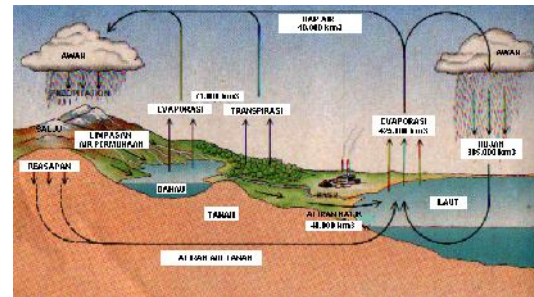
Kegiatan manusia di daerah aliran sungai seringkali dapat menimbulkan bahaya banjir besar. Penebangan hutan tidak hanya mengakibatkan erosi tanah tetapi menimbulkan pula kenaikan limpasan air. Selanjutnya, segala kegiatan manusia yang menimbulkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*) dapat menyebabkan perubahan iklim, yang akibatnya sudah barang tentu akan mempengaruhi siklus air secara global.

Sebagian besar air di bumi (97,41 %) berupa air laut, dan hanya 2,59 % berupa air tawar. Dari jumlah tersebut hanya 0,14 % dari total air tawar yang ada di bumi yang dengan segera dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Menurut hasil proyeksi para pakar, permukaan air laut di abad yang akan datang akan naik antara 0,5 meter sampai 1,5 meter, hal ini akan menimbulkan banjir di daerah pantai, salinisasi sumber-sumber air dan menaikkan perbandingan antara air asin dan air tawar. Presipitasi dapat bertambah antara 7% sampai 15%.

Menurut organisasi kesehatan dunia, 2 miliar orang kini menyandang risiko menderita penyakit murus yang disebabkan oleh air dan makanan. Penyakit ini merupakan penyebab utama kematian lebih dari 5 juta anak-anak setiap tahun. Sumber-sumber air semakin dicemari oleh limbah industri yang tidak diolah atau tercemar karena penggunaannya yang melebihi kapasitasnya untuk dapat diperbaharui. Kalau kita tidak mengadakan perubahan radikal dalam cara kita memanfaatkan air, mungkin saja suatu ketika air tidak lagi dapat digunakan tanpa pengolahan khusus yang biayanya melewati jangkauan sumber daya ekonomi bagi kebanyakan negara.

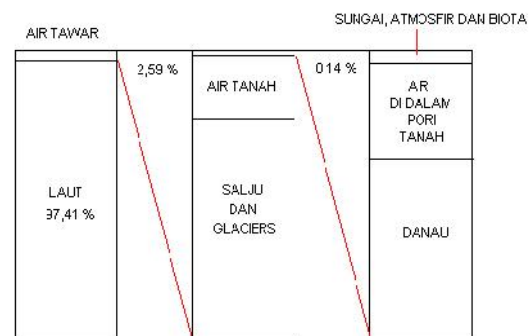
Sumber air tersebut persediaannya terbatas dan semakin hari semakin terpolusi oleh kegiatan manusia sendiri, namun masih terlalu banyak orang yang tidak mempunyai akses ke

air. Sekalipun air merupakan sumber daya yang terbatas, konsumsi air telah meningkat dua kali lipat dalam 50 tahun terakhir dan kita gagal mencegah terjadinya penurunan mutu air. Pada saat yang sama, jurang antara tingkat pemakaian air di negara-negara kaya dan negara-negara miskin semakin dalam. Dewasa ini 1,2 milyar penduduk dunia tidak mempunyai akses ke air bersih dan hampir dua kali dari jumlah itu tidak mempunyai fasilitas sanitasi dasar yang memadai.



Gambar 1 : Siklus Air di Bumi.

Sumber : Scientific American, 1989



Gambar 2 : Distribusi air di bumi.

Sumber : Scientific American, 1989

Portensi dan ketersediaan air di Indonesia saat ini diperkirakan sebesar 15.000 meter kubik perkapita per tahun. Jauh lebih tinggi dari rata-rata pasokan dunia yang hanya 8.000 m³/kapita/tahun. Pulau Jawa pada tahun 1930 masih mampu memasok 4.700 m³/kapita/tahun, saat ini total potensinya sudah tinggal sepertiganya (1500 m³/kapita/tahun). Pada tahun 2020 total potensinya diperkirakan tinggal 1200 m³/kapita/tahun. Dari potensi alami ini, yang layak dikelola secara ekonomi hanya 35%, sehingga potensi nyata dari tinggal 400 m³/kapita/tahun, jauh dibawah angka minimum PBB, yaitu sebesar 1.000 m³/kapita/tahun. Padahal dari jumlah 35% tersebut, sebesar 6% diperlukan untuk penyelamatan saluran dan sungai-sungai, sebagai *maintenance low*. Oleh karena itu pada tahun 2025, Internasional Water

Institute, menyebut Jawa dan beberapa pulau lainnya termasuk dalam wilayah krisis air.

Menurut Water Resources Development (1990), tahun 1990 Pulau Jawa sudah mengalami defisit air, dari kebutuhan 66.336 juta m³/tahun hanya bisa disediakan 43.952 juta m³/tahun. Joko Pitono (2003) juga mengkaji bahwa pada musim kemarau tahun 1993, 75% Pulau Jawa sudah mengalami kekeringan akibat defisit air dan diperkirakan defisit air akan meningkat pada tahun 2000 menjadi 56%, suatu angka yang mengkhawatirkan dan perlu diwaspadai secermat mungkin. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup tahun 1997, dalam neraca airnya menyatakan bahwa secara nasional belum terjadi defisit air, tetapi khusus untuk Jawa, Bali sudah terjadi defisit tahun 2000 dan tahun 2015 bertambah dengan wilayah Sulawesi dan NTT.

Sudah menjadi alasan klasik bahwa meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia menyebabkan tekanan sosial ekonomi terhadap lahan pertanian. Rata-rata 50.000 ha lahan pertanian teknis setiap tahun dikonversikan menjadi lahan pertanian. Lahan pertanian kelas satu yang dikonversikan untuk penggunaan lahan non pertanian tersebut sangat sulit untuk dicari gantinya ditempat lain, karena lahan-lahan yang tersisa tinggal lahan marginal yang miskin. Untuk mengganti lahan subur 50.000 ha yang hilang diperlukan lahan marginal 250.000 ha agar produksi padi tidak berkurang. Kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) semakin meningkat dari tahun ke tahun, khususnya di Pulau Jawa. Perubahan pola penggunaan lahan dari pertanian ke non pertanian mengakibatkan berkurangnya area hutan, semakin intensifnya pemanfaatan lahan dan kurangnya usaha konservasi tanah dan air, serta belum jelasnya arah dan implementasi pembangunan dalam mengatasi permasalahan sumberdaya air secara nasional. Kondisi demikian menyebabkan semakin meningkatnya kerusakan sumberdaya alam dan lingkungan, seperti banjir, kekeringan, pencemaran, eutrofikasi, sedimentasi dan sebagainya.

1.2 Penyediaan Air Bersih Di Wilayah DKI Jakarta dan Jabodetabek

Jumlah penduduk DKI Jakarta Tahun 2003 diperkirakan mencapai 10.421.948 jiwa. Dengan tingkat kebutuhan air bersih kota metropolitan sebesar 250 liter/orang/hari, maka kebutuhan air bersih kota Jakarta berkisar 2.605.487.000 liter/hari atau 30.156 liter/detik.

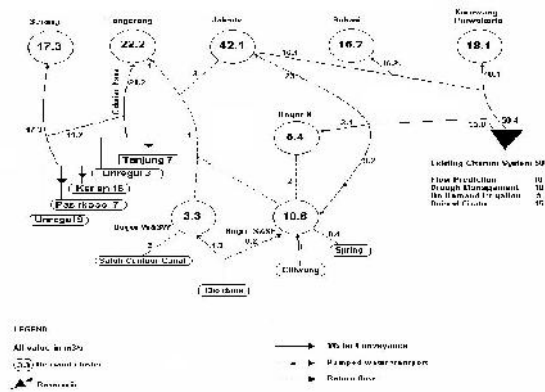
Total kapasitas produksi terpasang instalasi PDAM Jakarta adalah sebesar 18.260 liter/detik, sedangkan kapasitas rill produksi baru berkisar 15.430 liter/detik (84,5%). Dari jumlah

tersebut, yang berhasil terjual sampai ke konsumen sebesar 8.102 liter/detik, sedangkan sisanya 7.328 liter/detik (47,49%) tidak terjual.

Dengan kebutuhan yang mencapai 30.156 liter/detik dan pelayanan ke konsumen yang baru mencapai 8.102 liter/detik, maka untuk kebutuhan air bersih Jakarta baru terpenuhi 26,87%. Selama ini standar yang dipakai untuk menghitung kebutuhan air bersih kota Jakarta adalah 110 liter/orang/hari, sehingga dengan demikian rasio kecukupan pelayanan menjadi 54%. Penetapan angka standar ini sangat penting, sebab akan berpengaruh terhadap perhitungan pemakaian air tanah yang dilakukan oleh Dinas Pertambangan. Sebagai perbandingan standar kebutuhan air bersih kota metropolitan bisa mengacu dari negara-negara tetangga yang berkisar 250 – 350 liter/orang/hari.

Dalam perhitungan pemakaian air tanah Jakarta, Dinas Pertambangan DKI Jakarta berasumsi bahwa yang tidak memakai air dari PDAM memakai air tanah. Dengan demikian, ketergantungan masyarakat pada air tanah masih besar, yaitu 73,13% atau sebesar 22.054 liter/detik. Berdasarkan hasil penelitian DGTL dan Pemerintah Jerman dan Hasil penelitian JWRMS (1994) potensi air tanah dalam tertekan adalah 2.476 liter/detik dan air tanah dangkal adalah 25.720 liter/detik, dengan demikian total potensi air tanah adalah 28.196 liter/detik. Dengan demikian sisa potensi yang ada masih 6.141 liter/detik.

Menurut studi JWRMS (1992) pada tahun 2025 kebutuhan air Jabodetabek mencapai 135,4 m³/detik, sedangkan ketersediannya hanya 71,3 m³/detik, dengan demikian terjadi defisit sebesar 64,1 m³/detik. Untuk mengatasi defisit tersebut direkomendasikan untuk dibangun beberapa bendungan, seperti Bendungan Karian (14 m³/detik), Ciujung atau Ciliman (9 m³/detik), Tanjung dan Lainnya di wilayah Sungai Cidurian (11 m³/detik), Narogong (2,7 m³/detik) dan Benteng (6,7 m³/detik), dan rehabilitasi dan pembangunan lainnya yang berupa peninggian Bendungan Cirata (15 m³/detik), peningkatan manajemen saluran Tarum Barat dengan pembangunan Kanal nomer 2 (25 m³/detik), serta pembuatan kanal dari daerah tangkapan air Gunung Salak (2 m³/detik). Pembangunan infrastruktur bendungan dan rehabilitasi bendungan dan saluran akan menambah potensi air baku sebesar 86,4 m³/detik, dengan demikian pada tahun 2025 akan terjadi surplus air baku 22,3 m³/detik. Namun akibat krisis yang berkepanjangan rencana tersebut masih sebatas studi (Rustam Syarif, 2003). Skenario strategi penyediaan air baku untuk daerah Jabodetabek dapat dilihat pada Gambar 3 :



Gambar 3 : Strategi penyediaan air baku untuk daerah Jabodetabek 2025.

Sumber : Roestam Sjarief, 2003

1.3 Masalah Air Limbah Perkotaan

Masalah pencemaran lingkungan khususnya masalah pencemaran air di kota besar di Indonesia, telah menunjukkan gejala yang cukup serius. Penyebab dari pencemaran tadi tidak hanya berasal dari buangan industri dari pabrik-pabrik yang membuang begitu saja air limbahnya tanpa pengolahan lebih dahulu ke sungai atau ke laut, tetapi juga yang tidak kalah memegang andil baik secara sengaja atau tidak adalah masyarakat Jakarta itu sendiri, yakni akibat air buangan rumah tangga yang jumlahnya makin hari makin besar sesuai dengan perkembangan penduduk maupun perkembangan kota. Ditambah lagi rendahnya kesadaran sebagian masyarakat yang langsung membuang kotoran/tinja maupun sampah ke dalam sungai, menyebabkan proses pencemaran sungai-sungai yang ada bertambah cepat.

Sebagai contoh, dengan semakin besarnya laju perkembangan penduduk dan industrialisasi di Jakarta, telah mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Padatnya pemukiman dan kondisi sanitasi lingkungan yang buruk serta buangan industri yang langsung dibuang ke badan air tanpa proses pengolahan telah menyebabkan pencemaran sungai-sungai yang ada di Jakarta, dan air tanah dangkal di sebagian besar daerah di wilayah DKI Jakarta, bahkan kualitas air di perairan teluk Jakartapun sudah menjadi semakin buruk.

Air limbah kota-kota besar di Indonesia khususnya Jakarta secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yaitu air limbah industri dan air limbah domestik yakni yang berasal dari

buangan rumah tangga dan yang ke tiga yakni air limbah dari perkantoran dan pertokoan (derah komersial). Saat ini selain pencemaran akibat limbah industri, pencemaran akibat limbah domestikpun telah menunjukkan tingkat yang cukup serius. Di Jakarta misalnya, sebagai akibat masih minimnya fasilitas pengolahan air buangan kota (*sewerage system*) mengakibatkan tercemarnya badan - badan sungai oleh air limbah domestik, bahkan badan sungai yang diperuntukkan sebagai bahan baku air minumpun telah tercemar pula. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU) DKI Jakarta bersama-sama dengan Tim JICA (JICA.1990), jumlah unit air limbah dari buangan rumah tangga per orang per hari adalah 118 liter dengan konsentrasi BOD rata-rata 236 mg/lit dan pada tahun 2010 nanti diperkirakan akan meningkat menjadi 147 liter dengan konsentrasi BOD rata-rata 224 mg/lit. Data secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Jumlah air buangan secara keseluruhan di DKI Jakarta diperkirakan sebesar 1.316.113 M3/hari yakni untuk air buangan domestik 1.038.205 M3/hari, buangan perkantoran dan daerah komersial 448.933 M3/hari dan buangan industri 105.437 M3/hari. Perkiraan jumlah air limbah di wilayah DKI Jakarta secara lengkap seperti terlihat pada Tabel 2., sedangkan untuk perkiraan beban polusi ditunjukkan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa untuk wilayah Jakarta, dilihat dari segi jumlah, air limbah domestik (rumah tangga) memberikan kontribusi terhadap pencemaran air sekitar 75 %, air limbah perkantoran dan daerah komersial 15 %, dan air limbah industri hanya sekitar 10 %. Sedangkan dilihat dari beban polutan organiknya, air limbah rumah tangga sekitar 70 %, air limbah perkantoran 14 %, dan air limbah industri memberikan kontribusi 16 %. Dengan demikian air limbah rumah tangga dan air limbah perkantoran adalah penyumbang yang terbesar terhadap pencemaran air di wilayah DKI Jakarta.

Masalah pencemaran oleh air limbah rumah tangga di wilayah DKI Jakarta lebih diperburuk lagi akibat berkembangnya lokasi pemukiman di daerah penyangga yang ada di sekitar Jakarta, yang mana tanpa dilengkapi dengan fasilitas pengolahan air limbah, sehingga seluruh air limbah dibuang ke saluran umum dan akhirnya mengalir ke badan-badan sungai yang ada di wilayah DKI Jakarta. Di lain pihak laju pembangunan fasilitas pengolahan air limbah perkotaan masih sangat rendah yakni sampai saat ini prosentase pelayanan hanya sekitar 2,5-3 %.

Tabel 1 : Perkiraan Jumlah Air Limbah Rumah Tangga per kapita di wilayah DKI Jakarta

	KONDISI TH 1989				KONDISI TH 2010			
	GOL ATAS	GOL MENE NGAH	GOL BAWAH	RATA RATA	GOL ATAS	GOL MENE NGAH	GOL BAWAH	RATA RATA
AIR LIMBAH RUMAH TANGGA (Non Toilet)								
Unit Air Limbah (lt/org.hari)	167	107	77	95	227	127	77	124
Konsentrasi BOD (mg/l)	182	182	185	183	182	182	185	182
Beban Polusi (gr. BOD/org.hari)	30,4	14,2	14,2	17,4	41,3	23,1	14,2	22,6
LIMBAH TOILET								
Unit Air Limbah (lt/org.hari)	23				23			
Konsentrasi BOD (mg/l)	457				457			
Beban Polusi (gr. BOD/org.hari)	10,5				10,5			
TOTAL								
Unit Air Limbah (lt/org.hari)	190	130	100	118	250	150	100	147
Konsentrasi BOD (mg/l)	215	231	247	236	207	224	247	224
Beban Polusi (gr. BOD/org.hari)	40,9	30	24,7	27,9	51,8	33,6	24,7	33,4

Sumber : The Study On Urban Drainage and Waste Water Disposal Project In The City Of Jakarta, 1990

Dari hasil pengumpulan data terhadap beberapa contoh air limbah rumah yang berasal dari berbagai macam sumber pencemar di DKI Jakarta menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa pencemar sangat bervariasi. Hal ini disebabkan karena sumber air limbah juga bervariasi sehingga faktor waktu dan metoda pengambilan contoh sangat mempengaruhi besarnya konsentrasi. Secara lengkap karakteristik air limbah perkotaan dari berbagai macam sumber pencemar dapat dilihat pada Tabel 4.

Air limbah perkotaan adalah merupakan salah satu sumber daya air yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Beberapa kendala yang dihadapi di dalam menggunakan kembali air limbah yakni karena air limbah perkotaan kualitasnya tidak memenuhi syarat kualitas air untuk berbagai keperluan yakni mengandung unsur polutan yang cukup besar oleh karena itu sebelum digunakan kembali (*reuse*) perlu dilakukan pengolahan sampai mencapai syarat kualitas yang diperbolehkan.

Ilustrasi mengenai pemakaian air dan nasibnya sebagai limbah cair tersebut memberi gambaran bahwa air merupakan sumberdaya yang harus dikelola secara hati-hati, mengingat

pertumbuhan penduduk dan pengembangan industri selalu diikuti dengan peningkatan kebutuhan air bersih, bersamaan dengan itu terjadi pula peningkatan jumlah air limbah yang dibuang ke perairan, karena sebagian besar dari bersih yang dipakai akan dibuang ke perairan kembali sebagai limbah.

2. TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

Pengolahan air limbah bertujuan untuk menghilangkan parameter pencemar yang ada di dalam air limbah sampai batas yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air sesuai dengan syarat baku mutu yang diijinkan. Pengolahan air limbah secara garis besar dapat dibagi yakni pemisahan padatan tersuspensi (*solid – liquid separation*), pemisahan senyawa koloid, serta penghilangan senyawa polutan terlarut. Ditinjau dari jenis prosesnya dapat dikelompokkan : Proses pengolahan secara fisika, proses secara kimia, proses secara fisika-kimia serta proses pengolahan secara biologis.

Tabel 2 : Perkiraan Jumlah Air Limbah Di Wilayah DKI Jakarta Tahun 1989 dan Tahun 2010

LIMBAH WILAYAH		JUMLAH AIR LIMBAH YANG DIBUANG (m ³ /hari)				Jumlah Limbah Spesifik (m ³ /ha.hari)
		DOMISTIK	PERKANTORAN KOMERSIAL	INDUSTRI	TOTAL	
Kondisi saat ini (1987)	Jakarta Pusat	179.432 (78,0)	45.741 (19,9)	4.722 (2,1)	229.895	46,6
	Utara	143.506 (68,6)	20.622 (9,9)	45.188 (21,6)	209.316	15,0
	Barat	210.790 (79,2)	35.770 (13,4)	19.424 (7,3)	265.984	20,6
	Selatan	247.350 (85,1)	35.146 (12,1)	8.015 (2,8)	290.511	19,9
	Timur	256.947 (80,2)	35.372 (11,0)	28.088 (8,8)	320.407	17,1
	TOTAL	1.038.025 (8,9)	172.651 (13,1)	105.437 (8,0)	1.316.113	20,2
Kondisi akan datang (2010)	Jakarta Pusat	253.756 (67,0)	121.227 (32,0)	3.906 (1,0)	378.889	76,8
	Utara	266.233 (57,0)	60.298 (13,1)	135.485 (29,3)	462.016	33,1
	Barat	398.882 (76,6)	86.312 (16,6)	35.718 (6,9)	520.912	40,4
	Selatan	468.354 (84,0)	87.205 (15,6)	3.328 (0,4)	557.887	38,2
	Timur	495.461 (74,1)	93.891 (14,0)	79.194 (11,8)	668.546	35,6
	TOTAL	1.882.686 (72,7)	448.933 (17,3)	256.631 (9,9)	2.588.250	39,7

Sumber : The Study On Urban Drainage and Waste Water Disposal Project In The City Of Jakarta, 1990

Tabel 3 : Perkiraan Beban Polusi (Zat Organik) Di Wilayah DKI Jakarta Tahun 1989 dan Tahun 2010

LIMBAH WILAYAH		BEBAN POLUSI (Kg/hari)				Beban Polusi Spesifik (kg/ha.hari)
		DOMISTIK	PERKANTORAN KOMERSIAL	INDUSTRI	TOTAL	
Kondisi saat ini (1987)	Jakarta Pusat	42.433 (76,9)	10.568 (19,1)	2.192 (4,0)	55.191	11,2
	Utara	34.159 (57,0)	4.763 (8,0)	20.970 (35,0)	59.892	4,3
	Barat	49.827 (74,3)	8.264 (12,3)	9.017 (13,4)	67.108	5,2
	Selatan	58.361 (83,1)	8.120 (11,6)	3.721 (5,3)	70.202	4,8
	Timur	60.486 (74,0)	8.173 (10,0)	13.037 (16,0)	81.696	4,4
	TOTAL	245.264 (73,4)	39.888 (12,0)	48.937 (14,6)	334.089	5,1
Kondisi akan datang (2010)	Jakarta Pusat	57.216 (65,7)	28.004 (32,2)	1.806 (2,1)	87.026	17,6
	Utara	60.604 (44,2)	13.929 (10,1)	62.615 (45,7)	137.148	9,8
	Barat	89.917 (71,1)	19.937 (15,8)	16.505 (13,1)	126.359	9,8
	Selatan	105.354 (83,2)	20.144 (15,9)	1.075 (0,9)	126.573	8,7
	Timur	111.121 (65,6)	21.687 (12,8)	36.599 (21,6)	169.407	9,0
	TOTAL	424.212 (65,7)	103.701 (16,0)	118.600 (18,3)	646.513	9,9

Sumber : The Study On Urban Drainage and Waste Water Disposal Project In The City Of Jakarta, 1990

Tabel 4. Karakteristik Limbah Domestik atau Limbah Perkotaan

No	PARAMETER	MINIMUM	MAKSIMUM	RATA-RATA
1	BOD - mg/l	31,52	675,33	353,43
2	COD - mg/l	46,62	1183,4	615,01
3	Angka Permanganat (KMnO ₄) - mg/l	69,84	739,56	404,7
4	Ammoniak (NH ₃) - mg/l	10,79	158,73	84,76
5	Nitrit (NO ₂ ⁻) - mg/l	0,013	0,274	0,1435
6	Nitrat (NO ₃ ⁻) - mg/l	2,25	8,91	5,58
7	Khlorida (Cl ⁻) - mg/l	29,74	103,73	66,735
8	Sulfat (SO ₄ ⁻) - mg/l	81,3	120,6	100,96
9	pH	4,92	8,99	6,96
10	Zat padat tersuspensi (SS) mg/l	27,5	211	119,25
11	Deterjen (MBAS) - mg/l	1,66	9,79	5,725
12	Minyal/lemak - mg/l	1	125	63
13	Cadmium (Cd) - mg/l	ttd	0,016	0,008
14	Timbal (Pb)	0,002	0,04	0,021
15	Tembaga (Cu) - mg/l	ttd	0,49	0,245
16	Besi (Fe) - mg/l	0,19	70	35,1
17	Warna - (Skala Pt-Co)	31	150	76
18	Phenol - mg/l	0,04	0,63	0,335

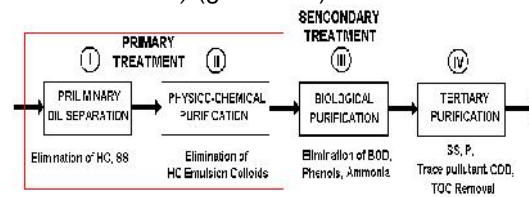
Penerapan masing-masing metode tergantung pada kualitas air baku dan kondisi fasilitas yang tersedia. Dalam tabel berikut ditampilkan kontaminan yang umum ditemukan dalam air limbah serta sistem pengolahan yang sesuai untuk menghilangkannya. Klasifikasi jenis proses pengolahan untuk menghilangkan senyawa pencemar dalam air limbah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 : Jenis Proses Pengolahan untuk menghilangkan senyawa pencemar dalam air limbah.

POLUTAN	SISTEM PENGOLAHAN	KLASIFIKASI
Padatan tersuspensi	Screening dan communion	F
	Sedimentasi	F
	Flotasi	F
	Filtrasi	F
	Koagulasi/sedimentasi	K/F
Biodegradable organics	Land treatment	F
	Lumpur aktif	B
	Trickling filters	B
	Rotating biological contactors	B
	Aerated lagoons (kolam aerasi)	B
	Saringan pasir	F/B
Pathogens	Land treatment	B/K/F
	Khlorinasi	K
	Ozonisasi	K
Nitrogen	Land treatment	F
	Suspended-growth nitrification and denitrification	B
	Fixed-film nitrification and denitrification	B
	Ammonia stripping	K/F
	Ion Exchange	K
	Breakpoint khlorinasi	K
Phospor	Land treatment	B/K/F
	Koagulasi garam logam/sedimentasi	K/F
	Koagulasi kapur/sedimentasi	K/F
	Biological/Chemical phosphorus removal	B/K
Refractory organics	Land treatment	K/F
	Adsorpsi karbon	F
	Tertiary ozonation	K
Logam berat	Sistem land treatment	F
	Pengendapan kimia	K
	Ion Exchange	K
Padatan inorganik Terlarut	Land treatment	F
	Ion Exchange	K
	Reverse Osmosis	F
	Elektrodialisis	K

Keterangan : B = Biologi, K = Kimia, F = Fisika

Ditinjau dari urutannya proses pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi : Pengolahan Primer (*primary treatment*), Pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier atau pengolahan lanjut (*tersier treatmet*) (gambar 4).



Gambar 4 : Tahapan proses pengolahan air limbah.

Pengolahan primer merupakan proses pengolahan pendahuluan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, koloid, serta penetralan yang umumnya menggunakan proses fisika atau proses kimia. Pengolahan sekunder merupakan proses untuk menghilangkan senyawa polutan organik terlarut yang umumnya dilakukan secara proses biologis.

Proses pengolahan lajut adalah proses yang digunakan untuk menghasilkan air olahan dengan kualitas yang lebih bagus sesuai dengan yang diharapkan. Prosesnya dapat dilakukan baik secara biologis, secara fisika, kimia atau kombinasi ke tiga proses tersebut.

Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Proses pengolahan air limbah dengan aktifitas mikro-organisme biasa disebut dengan "Proses Biologis".

Proses pengolahan air limbah secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi.

Pengolahan air limbah secara biologis secara besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam.

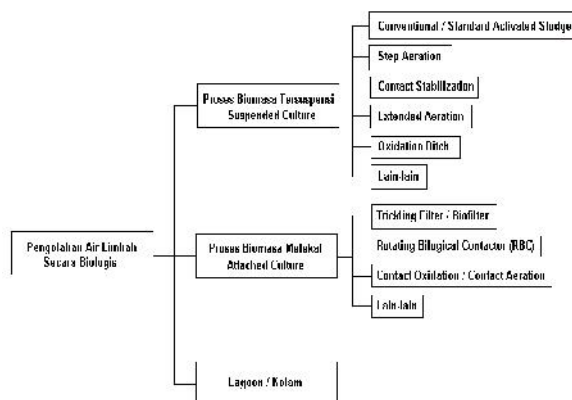
Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikro-organisme yang digunakan

dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Proses ini disebut juga dengan proses film mikrobiologis atau proses biofilm. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *trickling filter*, *biofilter tercelup*, reaktor kontak biologis putar (*rotating biological contactor* , *RBC*), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya.

Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikro-organisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai. Untuk mempercepat proses penguraian senyawa polutan atau memperpendek waktu tinggal dapat juga dilakukan proses aerasi. Salah satu contoh proses pengolahan air limbah dengan cara ini adalah kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Proses dengan sistem lagoon tersebut kadang-kadang dikategorikan sebagai proses biologis dengan biakan tersuspensi.

Secara garis besar klasifikasi proses pengolahan air limbah secara biologis dapat dilihat seperti pada Gambar 5, sedangkan karakteristik pengolahan, parameter perencanaan serta efisiensi pengolahan untuk tiap jenis proses dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.



Gambar 5 : Proses pengolahan air limbah secara biologis aerobik.

Untuk memilih jenis teknologi atau proses yang akan digunakan untuk pengolahan air limbah, beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain : karakteristik air limbah, jumlah limbah serta standar kualitas air olahan yang diharapkan.

Pemilihan teknologi pengolahan air limbah harus mempertimbangkan beberapa hal yakni antara lain jumlah air limbah yang akan diolah, kualitas air hasil olahan yang diharapkan, kemudahan dalam hal pengelolaan, ketersediaan lahan dan sumber energi, serta biaya operasi dan perawatan diupayakan serendah mungkin.

Setiap jenis teknologi pengolahan air limbah mempunyai keunggulan dan kekurangannya masing-masing, oleh karena itu dalam hal pemilihan jenis teknologi tersebut perlu diperhatikan aspek teknis, aspek ekonomis dan aspek lingkungan, serta sumber daya manusia yang akan mengelola fasilitas tersebut.

3. DAUR ULANG AIR LIMBAH

Sejalan dengan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat khususnya di daerah perkotaan, pencemaran air tanah maupun air permukaan, distribusi sumber air serta konsumsi pemakaian air yang tidak merata telah menyebabkan ketidak-seimbangan antara pasokan dan kebutuhan akan air. Oleh karena itu, dewasa ini inovasi baru dalam hal penyediaan sumber air baku telah menjadi perhatian yang penting. Salah satu alternatif yang banyak mendapat perhatian di banyak negara di dunia adalah menggunakan daur ulang air limbah khususnya air limbah perkotaan (*municipal waste*) sebagai salah satu sumber air baku untuk penyediaan air.

Di Amerika Serikat, penggunaan daur ulang paling banyak digunakan untuk irigasi pertanian dan landscape misalnya banyak digunakan di daerah California, Idaho dan Colorado. Penggunaan terbesar yang kedua adalah daur ulang air limbah untuk kegiatan industri misalnya yang paling banyak adalah untuk air pendingin, serta penggunaan lain untuk industri. Penggunaan daur ulang air limbah yang ketiga adalah penggunaan untuk injeksi atau *recharge* air tanah dengan penyiraman adat injeksi langsung ke akuifer. Penggunaan terbesar keempat adalah untuk penggunaan untuk kegiatan macam-macam misalnya danau rekreasi, akuakultur, pembersihan toilet (*flushing*)

Tabel 6 : Karakterisiti operasional proses pengolahan air limbah dengan proses biologis

JENIS PROSES		EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)	KETERANGAN
PPOSES BIOMASA TERSUSPENSI	Lumpur Aktif Standar	85 - 95	-
	Step Aeration	85 - 95	Digunakan untuk beban pengolahan yang besar.
	Modified Aeration	60 - 75	Untuk pengolahan dengan kualitas air olahan sedang.
	Contact Stabilization	80 - 90	Digunakan untuk pengolahan paket. Untuk mereduksi eksese lumpur.
	High Rate Aeration	75 - 90	Untuk pengolahan paket, bak aerasi dan bak pengendap akhir merupakan satu paket. Memerlukan area yang kecil.
	Pure Oxygen Process	85 - 95	Untuk pengolahan air limbah yang sulit diuraikan secara biologis. Luas area yang dibutuhkan kecil.
	Oxidation Ditch	75 - 95	Konstruksinya mudah, tetapi memerlukan area yang luas.
PROSES BIOMASA MELEKAT	Trickling Filter	80 - 95	Sering timbul lalat dan bau. Proses operasinya mudah.
	Rotating Biological Contactor	80 - 95	Konsumsi energi rendah, produksi lumpur kecil. Tidak memerlukan proses aerasi.
	Contact Aeration Process	80 - 95	Memungkinkan untuk penghilangan nitrogen dan fosfor.
	Biofilter Unaerobic	65 - 85	memerlukan waktu tinggal yang lama, lumpur yang terjadi kecil.
LAGOON	Kolam stabilisai	60 - 80	memerlukan waktu tinggal yang cukup lama, dan area yang dibutuhkan sangat luas

Tabel 7 : Parameter Perencanaan Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis Aerobik.

	JENIS PROSES	BEBAN BOD		MLSS (mg/lt)	Q _A /Q	T (Jam)	EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)
		BOD kg/kg SS.d	BODkg/m ³ .d				
	Lumpur Aktif Standar	0,2 - 0,4	0,3 - 0,8	1500 - 2000	3 - 7	6 - 8	85 - 95
	Step Aeration	0,2 - 0,4	0,4 - 1,4	1000 - 1500	3 - 7	4 - 6	85 - 95
PPOSES	Modified Aeration	1,5 - 3,0	0,6 - 2,4	400 - 800	2 - 2,5	1,5 - 30	60 - 75
BIOMASA	Contact Stabilization	0,2	0,8 - 1,4	2000 - 8000	≥ 12	≥ 5	80 - 90
TERSUSPENSI	High Rate Aeration	0,2 - 0,4	0,6 - 2,4	3000 - 6000	5 - 8	2 - 3	75 - 90
	Pure Oxygen Process	0,3 - 0,4	1,0 - 2,0	3000 - 4000	-	1 - 3	85 - 95
	Oxidation Ditch	0,03 - 0,04	0,1 - 0,2	3000 - 4000	-	24 - 48	75 - 95
	Extended Aeration	0,03 - 0,05	0,15 - 0,25	3000 - 6000	≥ 15	16 - 24	75 - 95
PROSES	Trickling Filter	-	0,08 - 0,4	-	-	-	80 - 95
BIOMASA	Rotating Biological Contact	-	0,01 - 0,3	-	-	-	80 - 95
MELEKAT	Contact Aeration Process	-	-	-	-	-	80 - 95
	Biofilter Unaerobic	-	-	-	-	-	65 - 85

CATATAN : Q : Debit Air Limbah (M³/day) Q_r : Return Sludge (M³/day) Q_A : Laju Alir Suplai Udara (M³/day)

Di dalam aplikasi reklamasi air limbah perkotaan serta guna ulang air limbah memerlukan tingkat proses pengolahan sampai mencapai tingkat kualitas tertentu sesuai dengan rencana penggunaannya. Beberapa aplikasi guna ulang air limbah dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain yakni untuk irigasi pertanian atau landscape, penggunaan industri, recharge air tanah, dan untuk keperluan suplai air bersih serta untuk keperluan umum misalnya untuk *flushsing* dan untuk air pemadam kebakaran dll.

Beberapa kategori penggunaan daur ulang air limbah serta kendala potensial yang dihadapi dapat dilihat seperti pada Tabel 8.

3.1 Teknologi Reklamasi Air Limbah

Persyaratan kualitas air untuk reklamasi air limbah bermacam-macam tergantung pada jenis pemakaiannya (lihat tabel 8). Teknologi reklamasi air limbah saat ini pada umumnya sama dengan teknik yang digunakan untuk pengolahan air minum atau air limbah. Namun pada kasus tertentu diperlukan proses pengolahan tambahan untuk menghilangkan kontaminasi fisik dan kimia tertentu, serta untuk me-nonaktifkan dan menghilangkan mikro-organisme patogen. Dalam evaluasi teknologi reklamasi.

Tabel 8 : Penggunaan Daur Ulang Air Limbah dan Kendala Potensial Yang Dihadapi.

No	Penggunaan Daur Ulang Air Limbah	Kendala Potensial
1	Irigasi Pertanian : <ul style="list-style-type: none"> • Pertanian Produksi • Pembibitan Komersial 	Jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan polusi air permukaan atau air tanah
2	Irigasi Landscape : <ul style="list-style-type: none"> • Taman • Halaman sekolah/perkantoran • Lapangan Golf • Jalan raya • Jalur Hijau • Makam • Perumahan dll 	Penerimaan masyarakat thd produk hasil pertanian Kendala penerimaan masyarakat dalam hubungannya dengan masalah kesehatan masyarakat, patogen, virus, bakteri dll. Masalah biaya yang relatif lebih besar
3	Penggunaan Untuk Industri : <ul style="list-style-type: none"> • Pendingin • Umpan Bioler • Air Proses • Pekerjaan Konstruksi 	Problem scale (kerak), korosi, concern kesehatan masyarakat khususnya mengenai transmisi patogen lewat aerosol di dalam cooling tower.
4	Recharge Air Tanah : <ul style="list-style-type: none"> • Pengisian Air Tanah • Kontrol Intrusi Air Laut • Kontrol Tanah Ambles (Land subsidence) 	Polutan organik, logam berat, patogen, nitrat
5	Rekerasi dan Fungsi Lingkungan : <ul style="list-style-type: none"> • Untuk pengisian danau/kolam • Perikanan dll 	Masalah kesehatan masyarakat khususnya dalam hubungannya dengan bakteri, virus, patogen Eutrophikasi akibat nutrien N, P
6	Keperluan Umum : <ul style="list-style-type: none"> • Air Pemadam kebakaran • Air Pendingin Udara (Air Conditioning) • Air Bilas Toilet (Toilet Flushing), dll. 	concern kesehatan masyarakat khususnya mengenai transmisi patogen lewat aerosol. Pengaruh kualitas air, Problem scale (kerak), korosi
7	Suplai Air bersih (Potable Resue) : <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan pada reservoir air bersih • Suplai ke dalam perpipaan air bersih 	Masalah polutan mikro dan efek toksisitas, patogen. Estetika dan penerimaan masyarakat. Transmisi virus dan patogen lainnya.

Ringkasan tipe unit operasi dan proses yang umum digunakan untuk proses reklamasi air buangan serta kontaminan yang dihilangkan dapat dilihat pada Tabel 9.

Untuk mengkaji beberapa konsep dan teknologi yang penting untuk proses daur ulang air limbah (*wastewater reuse*), beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah pertama : kehandalan proses pengolahan (*treatment process reliability*), ke dua : penghilangan partikel tersuspensi dan kekeruhan, dan yang ke tiga adalah pengolahan khusus serta contohnya dari kombinasi pengolahan lanjut proses reklamasi.

3.1.1 Kehandalan Proses Pengolahan

Kehandalan proses pengolahan yang digunakan untuk daur ulang air limbah dapat dikaji dari kestabilan dan konsistensi air hasil olahan reklamasi air limbah yang dapat diterima sesuai dengan penggunaannya. Ada dua masalah penting yang perlu diperhatikan yang dapat mengganggu *performance* dan kehandalan proses daur ulang air limbah. Yang pertama adalah problem yang diakibatkan kerusakan mekanik, defisiensi disain, serta kegagalan operasional, dan yang ke dua adalah masalah yang diakibatkan oleh influen air limbah yang sangat bervariasi. Hal ini mengakibatkan hasil air olah tidak stabil meskipun unit pengolahan sudah dirancang dan dioperasikan dengan baik. Oleh karena itu pengkajian kualitas air limbah yang akan diolah merupakan hal yang sangat penting dan perlu dilakukan dengan sebaik-baiknya agar sistem proses pengolahan dapat dirancang dengan sebaik-baiknya.

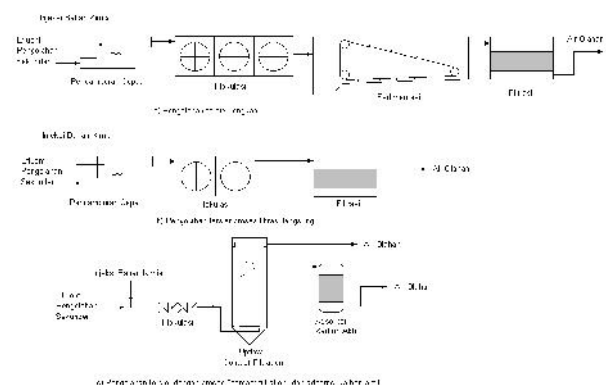
3.1.2 Penghilangan Partikel Tersuspensi dan Kekeruhan

Pada saat ini kecenderungan penggunaan reklamasi serta daur ulang air limbah perkotaan di daerah perkotaan telah menjadi perhatian yang besar bagi masyarakat. Penggunaan daur ulang air limbah di daerah perkotaan umumnya digunakan untuk lapangan golf, irigasi landskap, pengisian kembali air tanah, untuk keperluan rekreasi, untuk air pendingin industri dll. Pertimbangan utama di dalam penggunaan daur ulang air limbah adalah resiko kesehatan yang diakibatkan oleh senyawa polutan organik dan mikroorganisme patogen, serta penerimaan masyarakat yang berkaitan dengan nilai estetika.

Untuk mendapatkan efisiensi penghilangan atau inaktivasi virus dan mikroorganisme patogen ada dua kriteria operasional yang penting yang harus dipenuhi yaitu pertama : konsentrasi padatan tersuspensi (*suspended solids*) dan kekeruhan di dalam air efluen harus rendah

sebelum dilakukan proses disinfeksi. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi serta mengurangi kebutuhan khlorine. Yang kedua, dosis disinfektan yang ditambahkan dan waktu kontak dengan air yang diolah harus cukup.

Untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan kekeruhan umumnya menggunakan proses pengolahan tersier dengan proses filtrasi dengan media granular misalnya dengan karbon aktif. Dengan proses tersebut dapat menurunkan konsentrasi padatan tersuspensi yang ada di dalam efluen sekunder, dan dapat menurunkan konsentrasi zat organik yang dapat bereaksi dengan disinfektan, serta untuk meningkatkan kualitas estetika dengan menghilangkan kekeruhan. Di dalam proses reklamasi air limbah proses filtrasi dilakukan untuk proses tahap akhir sebelum disinfeksi atau sebagai tahap antara (*intermediate*) di dalam pengolahan lanjutan (*advanced treatment*). Beberapa proses pengolahan tersier yang sering digunakan untuk reklamasi atau daur ulang air limbah dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 : Beberapa proses pengolahan tersier yang sering digunakan untuk reklamasi atau daur ulang air limbah.

Proses yang yang digunakan umumnya adalah (a) proses lengkap terdiri dari proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi, b) filtrasi langsung yang terdiri dari proses koagulasi, flokulasi dan filtrasi dan c) filtrasi kontak atau *up flow contact filtration* dilanjutkan dengan filtrasi karbon aktif.

Untuk menghasilkan air olahan yang bebas virus dengan menggunakan proses filtrasi langsung seperti pada Gambar 6.b dan 6.c. kualitas air efluen sekunder harus bagus. Sebagai contoh, untuk mendapatkan air olahan yang cukup jernih dan kekeruhan yang rendah (< 2 NTU) maka diperlukan kualitas efluen sekunder 7 -9 NTU, padatan tersuspensi 14 – 22 mg/l dan total COD 40 – 80 mg/l.

Tabel 9 : Unit proses atau unit operasi yang digunakan untuk proses daur ulang air limbah serta kontaminan potensial yang dapat dihilangkan.

	Unit Proses atau Unit Operasi																	
	Penolakan Primer	Lumpur Aktif	Nitrifikasi	Denitrifikasi	Trickling Filter	RBC	Kogulasi -Flokulasi - Sedimentasi	Filtrasi Setelah Proses Lumpur Aktif	Adsorpsi Dg Karbon Aktif	Ammonia Stripping	Pertukaran Ion Selektif	Khlorinasi Break Point	Reverse Osmosis	Overland Flow	Irigasi	Infiltrasi - Perkolasi	Khlorinasi	Ozon
KONTAMINAN AIR LIMBAH	BOD	x	+	o	+	+	+	x	+	o	x		+	+	+	+		
	COD	x	+	o	+	+	+	x	x		x		+	+	+	+		
	TSS	+	+	o	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+		
	NH ₃ -N	o	+	x		+	o	x	x		+	+	+	x				
	NO ₃ -N			+				x	o			+	+	x				
	Phospor	o	x	+			+	+	+				+	+	+	+		
	Alkalinitas		x				x	+					+			x		
	Minyak dan Grease	+	+	+			x		x					+	+	+		+
	Total Coliform		+	+		o			+				+		+	+	+	
	TDS																	
Arsen (As)	x	x	x				x	+	o									
Barium (Ba)		x	o				x	o										
Cadmium (Cd)	x	+	+		o	x	x	x	o									
Chromium (Cr)	x	+	+		o	+	x	x	x									
Tembaga (Copper)	x	+	+		+	+	+	o	x									
Fluoride							x		o									
Besi (Iron)	x	+	+		x	+	+	+	+									
Lead (Pb)	+	+	+		x	+	+	o	x									

Tabel 9 : Unit proses atau unit operasi yang digunakan untuk proses daur ulang air limbah serta kontaminan potensial yang dapat dihilangkan (lanjutan)

	Unit Proses atau Unit Operasi																	
KONTAMINAN AIR LIMBAH	Pencelahan Primer	Lumpur Aktif	Nitrifikasi	Denitrifikasi	Trickling Filter	RBC	Kogulasi –Flokulasi - Sedimentasi	Filtrasi Setelah Proses Lumpur Aktif	Adsorpsi Dg Karbon Aktif	Ammonia Stripping	Pertukaran Ion Selektif	Khlorinasi Break Point	Reverse Osmosis	Overland Flow	Irigasi	Infiltrasi - Perkolasi	Khlorinasi	Ozon
	O	X	X		O	+	X	+	X				+					
	O	O	O		O		O	+	O									
	+	+	+		X		+		X									
	X	X	+		+	+	+		+							+		
	O	X	X		O		+	X	+				+	+	+	+		+
	X	+	+		+		X		+				+	+	+	+		O
	X	+			X		+		+				+	+	+	+		
	X	+	+	O	X			+	+				+	+	+	+		
	X	+	+	X	X								+	+	+	+		+
TOC	X	+	+	0	X		+	X	+	O	O		+	+	+	+		+
	X	+	+	0	X		+	X	+				+	+	+	+		+

Simbol :

O = Penghilangan konsentrasi influent 25 %.
 X = Penghilangan konsentrasi influent 25 – 50 %.
 + = Penghilangan konsentrasi influent > 50 %.
 blank = tidak ada data.

Sumber : Metcalf and Eddys

Di dalam unit reklamasi air limbah skala penuh di California Wastewater Reclamation plant, untuk menghasilkan air olahan dengan kekeruhan < 2 NTU dengan proses filtrasi langsung tanpa penambahan kimia, kekeruhan air efluen sekunder yang akan diolah harus memenuhi range 7 – 9 NTU. Proses filtrasi langsung dengan penambahan kimia digunakan apabila kekeruhan di dalam efluent sekunder melebihi 10 NTU. Nilai kekeruhan efluent sekunder 10 NTU biasanya digunakan sebagai garis batas ekonomis untuk proses pengolahan tersier dengan filtrasi langsung. Jika kekeruhan efluent sekunder selalu melebihi 10 NTU maka lebih disarankan untuk meningkatkan proses pengolahan sekunder.

3.2 Kombinasi Proses Reklamasi Air Limbah Lanjut (*Advanced Wastewater Reclamation Process Combinations*)

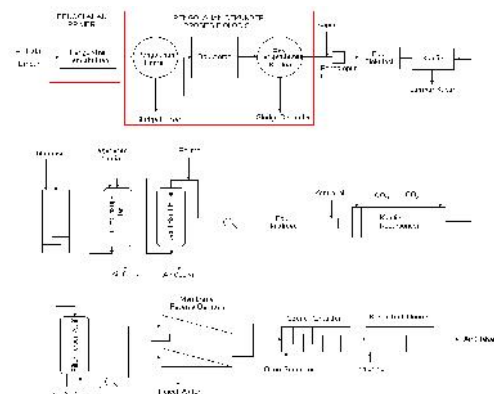
Dengan meningkatnya perhatian masyarakat terhadap kualitas air minum, banyak penelitian masalah air minum yang berhubungan dengan penggunaan daur ulang air limbah untuk air minum secara tidak langsung (*indirect potable reuse*). Ada tiga kelompok kontaminan yang menjadi perhatian khusus di dalam reklamasi dan daur ulang air limbah untuk air minum. Kelompok kontaminan tersebut adalah virus, kontaminan organik termasuk pestisida dan logam berat. Pengelompokan kontaminan yang berdasarkan pada pengaruhnya terhadap kesehatan ini masih belum dapat dipahami secara keseluruhan, oleh karena itu badan pembuat peraturan membuat perijinan penerapan daur ulang air buangan dengan mengaitkan pada pengaruhnya terhadap penyediaan air minum.

Untuk mendapatkan derajat pengolahan yang tinggi serta kualitas yang handal dan konsiten yang dapat diterima sesuai dengan standar penggunaan air minum (*potable reuse*) dilakukan dengan cara kombinasi unit operasi dan proses, umumnya meliputi klarifikasi dengan menggunakan kapur, penghilangan nutrient, rekarbonasi, adsorpsi dengan karbon aktif, demineralisasi dengan menggunakan reverse osmosis, dan disinfeksi dengan ultraviolet, klorin atau ozon atau kombinasi ketiga-tiganya.

Salah satu contoh proses pengolahan air limbah perkotaan untuk daur ulang menjadi air bersih terdiri dari pengolahan primer, pengolahan sekunder dan pengolahan lanjut. Di dalam penggunaan daur ulang air limbah untuk digunakan sebagai suplai air bersih ada beberapa kategori kontaminan yang harus diperhatikan secara khusus yakni antara lain kontaminan organik termasuk pestisida, bakteri patogen dan virus serta kontaminan logam berat misalnya

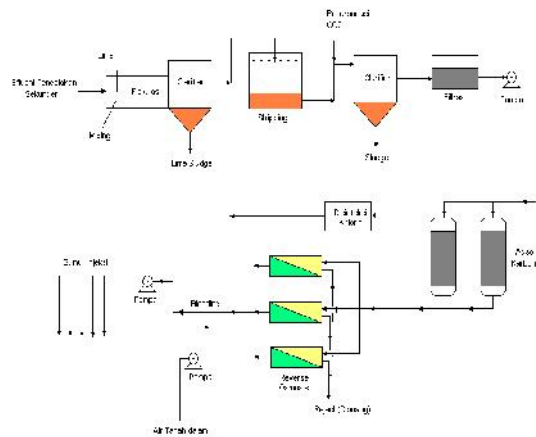
merkuri, timbal, chrom valensi 6, cadmium dll. Oleh karena itu proses pengolahannya harus dilakukan secara hati-hati dengan kontrol kualitas yang dapat dipertanggung-jawabkan. Salah satu konsep pengolahan air limbah perkotaan untuk dijadikan air bersih yakni menggunakan kombinasi proses pengolahan primer, pengolahan sekunder dengan proses biologis dilanjutkan proses pengolahan lanjut secara fisika-kimia misalnya meliputi proses klarifikasi, penghilangan nutrient, rekarbonasi, filtrasi, adsorpsi dengan karbon aktif, proses *ion exchange*, serta demineralisasi dengan proses reverse osmosis serta ozonisasi dan khlorinasi. Dengan kombinasi proses tersebut dapat mengolah air limbah sampai menghasilkan air olahan dengan kualitas sebagai air minum. Diagram pengolahan dapat dilihat seperti pada Gambar 7.

Beberapa contoh aplikasi pengolahan air limbah lanjut untuk daur ulang misalnya dilakukan di El Paso, Texas, dengan kapasitas 10 Mgal/hari (378.540 m³/hari) dan digunakan untuk pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*) dengan cara injeksi langsung ke akuifer. Di Orange County, California injeksi atau pengisian kembali air tanah dengan menggunakan daur ulang air limbah telah dilakukan sejak tahun 1976. Skema diagram proses reklamasi air limbah Water Factory 21, dengan kapasitas 15 Mgal per hari dapat dilihat pada Gambar 8. Seperti terlihat pada gambar tersebut, proses pengolahan air limbah lanjut meliputi klarifikasi dengan kapur, penghilangan nutrient, rekarbonasi, filtrasi dengan multi media, adsorpsi dengan karbon aktif, demineralisasi dengan RO dan khlorinasi. Selain itu Occoquan Sewage Authority(OUSA), North Virginia air hasil reklamasi dengan kualitas yang tinggi telah dialirkan ke Occoquan reservoir untuk digunakan sebagai air baku air minum sejak tahun 1978.



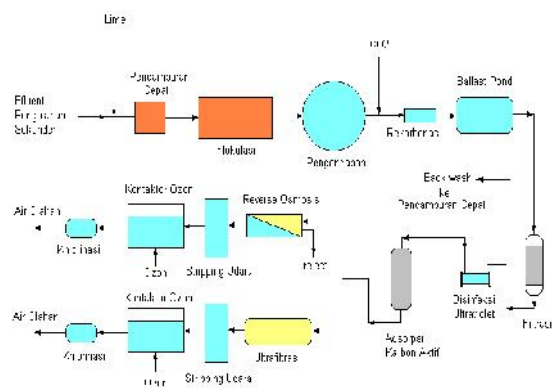
Gambar 7 : Konsep proses pengolahan air limbah perkotaan menjadi air bersih (*advances treatment of waste water for water supply*)

Sumber : Disesuaikan dari Metcalf and Eddy, 1991.



Gambar 8 : Skema diagram proses reklamasi air limbah Water Factory 21, Orange County, California.

Contoh lain adalah daur ulang air limbah untuk penggunaan air minum (*potable reuse*) di Denver dengan kapasitas 1 Mgal/d. Diagram prosesnya dapat dilihat pada Gambar 9. Studi pengaruh air hasil proses direklamasi terhadap kesehatan saat ini sedang dilakukan. Studi dampak daur ulang air limbah terhadap kesehatan yang lain dilakukan di San Diego, California. Efluent dari fasilitas reklamasi air limbah yang meliputi sistem pengolahan *aquatic floating plant* yang diikuti dengan sistem pengolahan lanjut sedang dibandingkan dengan penyediaan air minum untuk perkotaan.

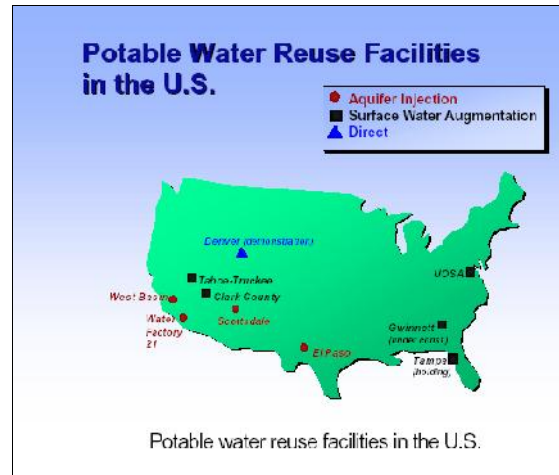


Gambar 9 : Diagram alir proses daur ulang air limbah di Denever Potable Water Reuse Demonstration Plant.

Kombinasi dari beberapa unit proses dan operasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 9 dan menggunakan pengalaman yang diperoleh dari proses reklamasi air limbah lanjut, seperti ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9, dengan penerapan sistem daur ulang air limbah perkotaan saat ini dimungkinkan memperoleh air dengan kualitas tinggi. Namun demikian kelayakan program daur ulang air limbah sangat

tergantung pada biaya dan penerimaan masyarakat.

Beberapa lokasi fasilitas daur ulang air limbah untuk air minum (*potable water reuse*) di seluruh Amerika Serikat dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 : Lokasi fasilitas daur ulang air limbah untuk air minum (*potable water reuse*) di Amerika Serikat.

3.3 Pertimbangan Perencanaan Reklamasi dan Daur Ulang Air Limbah

Di dalam perencanaan yang efektif untuk reklamasi dan daur ulang air limbah, maka tujuan serta dasar untuk melaksanakan studi perencanaan harus didefinisikan dengan jelas. Proyek reklamasi dan daur ulang air limbah yang optimal dapat di capai dengan cara mengintegrasikan kebutuhan pengolahan air limbah dan kebutuhan suplai air bersih ke dalam perencanaan. Pendekatan yang integral atau menyeluruh akan berbeda dengan perencanaan fasilitas pengolahan air limbah yang konvensional, yang mana di dalam perencanaan yang konvensional umumnya hanya meliputi pengumpulan air limbah, pengolahan dan pembuangan.

Perencanaan fasilitas reklamasi dan daur ulang air limbah yang diharapkan harus meliputi beberapa analisis yaitu :

- 1) Pengkajian kebutuhan pengolahan dan pembuangan air limbah.
- 2) Pengkajian kebutuhan dan suplai air minum.
- 3) Pengkajian keuntungan suplai air berdasarkan potensi daur ulang air limbah.
- 4) Analisis alternatif rancang bangun dan ekonomi.
- 5) Rencana implementasi dengan analisis finansial.

3.3.1 Dasar Perencanaan (*Planning Basis*)

Dua komponen kritis sebagai dasar perencanaan reklamasi dan daur ulang air limbah adalah tujuan (*project objective*) dan area studi.

A. Tujuan Proyek (*Project Objectives*)

Reklamasi dan daur ulang air limbah mempunyai dua fungsi yaitu sebagai kontrol pencemaran air (*water pollution control*) dan sebagai suplai air (*water supply*). Dalam satu dekade terakhir ini telah terjadi peningkatan perhatian terhadap keuntungan suplai air di dalam proses perencanaan fasilitas.

Dengan mengabaikan potensi suplai air dari air limbah perkotaan sering berakibat terhalangnya kemungkinan pembangunan alternatif sumber air atau suplai air. Sebagai contoh, beberapa lokasi pemakaian kembali atau daur ulang air limbah secara optimal dapat memberikan hasil yang lebih baik jika dibangun unit pengolahan limbah cair skala kecil dengan memperhatikan reuse, dibandingkan dengan fasilitas pengolahan limbah cair skala besar.

Oleh karena sebagian besar instansi air bersih dan air limbah dibangun untuk tujuan dan fungsi tunggal, maka perencanaan oleh instansi tersebut cenderung hanya untuk tujuan dan fungsi tertentu (tunggal). Hasil optimal reklamasi dan daur ulang air limbah dapat diperoleh dengan cara menerapkan perencanaan dengan beberapa tujuan (*multi porpose*) serta menggabungkan antara pengelolaan air buangan dengan air bersih.

B. Wilayah Studi Proyek (*Project Study Area*)

Wilayah studi proyek merupakan isue perencanaan lain yang kritis. Terdapat dua wilayah studi dalam perencanaan proyek. Pertama adalah Perencanaan yang didasarkan kepada wilayah pelayanan langsung dari rencana fasilitas proyek. Kedua adalah perencanaan dengan memperluas area yang lebih sedikit biaya langsung atau keuntungan dari suatu proyek, yang harus diperhitungkan untuk mengevaluasi proyek. Oleh karena itu, wilayah studi untuk disain fasilitas mencakup : (1) wilayah sistem pengumpulan yang dapat dilayani oleh fasilitas pengolahan limbah cair, dan (2) wilayah yang secara potensial dapat dilayani oleh reklamasi air limbah..

Untuk mengevaluasi keuntungan dan biaya proyek, wilayah studi proyek harus meliputi (1) wilayah dipengaruhi oleh dampak lingkungan dari limbah cair, dan (2) wilayah yang

diuntungkan dari alternatif suplai air dari air limbah yang direklamasi.

Pendekatan tradisional untuk perencanaan adalah menyamakan wilayah studi dengan batas wilayah secara hukum. Batas-batas seperti itu seringkali, tidak sesuai dengan disain optimal dari sebuah proyek reklamasi air limbah dan daur ulang. Oleh karena penyediaan air umumnya tergantung pada sumber air regional yang berada di luar lokasi, maka sangat perlu diperhatikan gambaran situasi sumber air yang ada diluar area studi. Sebagai contoh, pengambilan air tanah yang berlebihan dapat memberikan pengaruh terhadap masyarakat yang berada jauh dari area proyek. Oleh karena itu, penerapan proyek daur ulang air limbah pada satu komunitas yang dapat mengurangi pengambilan air tanah akan menghasilkan penghematan penyediaan air pada komunitas lain.

3.3.2 Pengkajian Pasar (*Market Assessment*)

Di dalam perencanaan sebuah proyek reklamasi air limbah, perlu dikaji mengenai potensi pelanggan yang sanggup dan mau menggunakan air hasil reklamasi. Keberhasilan proyek daur ulang air limbah sangat tergantung pada jaminan pasar untuk mau menggunakan air hasil reklamasi. Suatu kajian pasar berisi dua bagian: (1) Mendapatkan informasi latar belakang, termasuk potensi pemakaian limbah cair yang direklamasi, dan (2) survey tentang potensi pengguna dari air hasil reklamasi serta kebutuhannya. Latar belakang dan informasi survei perlu untuk sebuah kajian pasar untuk limbah pasar yang direklamasi dapat dilihat di Tabel 10. Hasil kajian ini sebagai dasar untuk alternatif pembangunan dan menentukan kelayakan anggaran dari suatu proyek.

3.3.3 Analisis Moneter (*Monetary Analyses*)

Saat ini, faktor moneter cenderung kurang diperhatikan dalam menentukan apakah sebuah proyek reklamasi dan daur ulang air limbah diimplementasikan dan bagaimana menjalankannya, meskipun secara teknis, lingkungan, dan faktor sosial ini adalah penting dalam perencanaan proyek. Akan tetapi, pada masa yang akan datang, pertimbangan lingkungan dan isu kebijakan publik/masyarakat akan menjadi lebih penting daripada sekedar efektifitas biaya sebagai suatu alat kelayakan dari sebuah proyek pemakaian daur ulang air limbah.

Tabel 10 : Pengkajian pasar untuk daur ulang air limbah : Informasi latar belakang dan survei.

1	Inventraisasi pengguna potensial yang akan menggunakan air daur ulang air limbah.
2	Menentukan kebutuhan kualitas air yang berkaitan dengan kesehatan sesuai dengan jenis penggunaan daur ulang air limbah misalnya kehandalan proses, pencegahan kegagalan proses, penggunaan area kontrol, dll.
3	Menentukan kebutuhan peraturan untuk mencegah gangguan atau penolakan untuk penggunaan daur ulang.
4	Mengembangkan asumsi yang berkenaan dengan kualitas air minum yang dapat digunakan untuk masa yang akan datang dengan berbagai tingkat pengolahan dan dibandingkan dengan standar yang berlaku serta kebutuhan pengguna.
5	Menghitung perkiraan harga suplai air bersih untuk pengguna potensial daur ulang air limbah.
6	Survei pengguna potensial yang akan menggunakan air daur ulang. Beberapa informasi yang diperlukan :
	a. Jumlah pengguna potensial yang mau atau akan menggunakan air daur ulang.
	b. Kebutuhan jumlah saat ini dan yang akan datang.
	c. Waktu dan jumlah kebutuhan yang pasti.
	d. Kebutuhan kualitas air yang diharapkan.
	e. Modifikasi fasilitas On Site untuk dirubah menjadi reklamasi dan daur ulang air limbah dan untuk mendapatkan kualitas yang memenuhi standar yang dibutuhkan, serta untuk mencegah dampak terhadap kesehatan masyarakat dan mencegah pencemaran.
	f. Jumlah investasi untuk modifikasi fasilitas on site, perubahan biaya operasional, pay back period, rate of return serta penghematan biaya yang diharapkan.
	g. Perencanaan untuk perubahan fasilitas of site pada masa yang akan datang.
7	Menginformasikan kepada pengguna potensial tentang hambatan peraturan yang berlaku, kemungkinan kualitas air yang dapat dicapai dengan tingkat pengolahan yang berbeda, kehandalan (reliabilitas) air hasil reklamasi, harga air pada masa yang akan datang, kualitas air hasil daur ulang air limbah dibandingkan dengan kualitas air minum yang berlaku saat ini.
8	Mengkaji kesiapan dari pengguna potensial untuk menggunakan air hasil daur ulang air limbah pada saat sekarang dan masa yang akan datang.

3.3.4 Analisis Moneter (*Monetary Analyses*)

Saat ini, faktor moneter cenderung kurang diperhatikan dalam menentukan apakah sebuah proyek reklamasi dan daur ulang air limbah diimplementasikan dan bagaimana menjalankannya, meskipun secara teknis, lingkungan, dan faktor sosial ini adalah penting dalam perencanaan proyek. Akan tetapi, pada masa yang akan datang, pertimbangan lingkungan dan isu kebijakan publik/masyarakat akan menjadi lebih penting daripada sekedar efektifitas biaya sebagai suatu alat kelayakan dari sebuah proyek pemakaian daur ulang air limbah.

3.3.5 Analisis Finansial dan Ekonomi

Analisa moneter yang didasarkan nilai ekonomis sumber air, terdiri dari dua katagori yaitu analisa ekonomi dan analisa keuangan. Analisa ekonomi dititik-beratkan pada nilai sumber yang diinvestasi dalam proyek untuk menjalankan dan mengoperasikan proyek, dan

diukur secara moneter. Di pihak lain analisa keuangan difokuskan pada biaya dan keuntungan proyek ditinjau dari sponsor proyek dan partisipan dan lain lain yang terkena dampak proyek. Biaya dan keuntungan ini mungkin tidak mencerminkan nilai yang sebenarnya dari sumber yang diinvestasikan karena subsidi dan transfer moneter.

Analisa ekonomi mengevaluasi proyek reklamasi dan daur ulang air limbah dalam konteks dampaknya terhadap sosial, sementara analisa keuangan difokuskan pada kemampuan lokal untuk menambah uang dari pendapatan (*revenue*) proyek, bantuan pemerintah, pinjaman dan perjanjian pembayaran. Hasil dari analisa ekonomi harus dapat menjawab pertanyaan "Haruskah proyek daur ulang ini dibangun?" sama pentingnya juga adalah pertanyaan "Dapatkah proyek daur ulang ini dibangun?". Kedua pertanyaan itu penting namun hanya proyek reklamasi dan daur ulang air buangan yang layak menurut konteks ekonomi yang selanjutnya diperhatikan untuk analisa keuangan.

3.3.6 Biaya dan Harga Air

Faktor penting lainnya dalam analisa moneter proyek reklamasi dan daur ulang air limbah adalah perbedaan antara biaya dan harga air. Untuk menentukan kuntungan dari proyek penyediaan atau suplai air dari hasil reklamasi dan daur ulang di dalam analisa ekonomi, umumnya dibandingkan dengan proyek pengembangan penyediaan air minum dari sumber air tawar yang baru. Dalam suatu analisa ekonomi, hanya aliran dana yang berasal dari sumber yang akan diinvestasikan atau dana yang berasal dari proyek yang dipertimbangkan. Sumber-sumber dari investasi yang lalu, dipertimbangkan sebagai biaya penyusutan, merupakan hal yang kurang relevan pertimbangan sebagai investasi kedepan. Oleh karena itu, debt service di dalam investasi yang lampau tidak termasuk dalam analisa ekonomi. Harga air selalu menggambarkan pengeluaran sekarang dan yang lalu untuk suatu kombinasi biaya proyek dan biaya administrasi sistem air. Hanya biaya konstruksi, operasi, dan pemeliharaan yang relevan untuk analisa ekonomi.

Dalam melakukan analisa, harga yang relevan untuk membandingkan biaya adalah aliran biaya yang akan datang 1) untuk membangun fasilitas air dari sumber air tawar yang baru, dan 2) untuk mengoperasikan dan pemeliharaan semua fasilitas yang dibutuhkan untuk mengolah dan mengirim tambahan suplai air yang dibangun. Dengan demikian, ongkos harga sekarang dan yang akan datang untuk air tawar tidak dapat ditetapkan sebagai suatu pembandingan dasar yang valid untuk menentukan keuntungan suplai air dari suatu proyek daur ulang air limbah.

Di lain pihak, pertimbangan ongkos harga air tawar dan reklamasi air limbah adalah penting untuk menentukan kelayakan keuangan. Ongkos harga untuk pelanggan adalah harga air dan atau harga-harga yang akan dievaluasi dari pengguna potensial reklamasi air limbah untuk berpartisipasi dalam suatu proyek reuse air limbah.

3.3.7 Faktor Perencanaan Lainnya dan Report

Sebagai tambahan analisis moneter, beberapa faktor yang harus dievaluasi selama perencanaan proyek reklamasi dan daur ulang air limbah. Beberapa faktor yang cukup penting antara lain : (1) karakteristik kebutuhan air, (2) cadangan sistem darurat dan suplai air tambahan, (3) kualitas air yang dibutuhkan, (4) Penentuan kapasitas proyek yang optimal.

Kapasitas proyek reklamasi dan daur ulang umumnya relatif kecil dibandingkan dengan kapasitas penyediaan air bersih dalam hal suplai dan kebutuhan, tingkat pengolahan air limbah yang sesuai, kapasitas penampungan air hasil reklamasi dan tambahan atau cadangan air bersih.

Hasil dari perencanaan yang lengkap didokumentasikan dalam bentuk Report perencanaan reklamasi dan daur ulang air limbah yang menyeluruh.

4. STUDI KASUS : UNIT REKLAMASI AIR LIMBAH UNTUK AIR MINUM DI SINGAPURA "NEWater Factory"

Studi Reklamasi Air Singapura (*The Singapore Water Reclamation Study*) dimulai sejak tahun 1998 yang diprakarsai oleh Public Utilities Board (PUB) dan Kementerian Lingkungan dan Sumber Daya Air (*Ministry Of The Environment and Water Resources*) Singapura. Tujuan utama studi tersebut adalah untuk mengkaji kemungkinan pemakaian air hasil olahan reklamasi air limbah perkotaan (NEWater) untuk sumber air baku di Singapura. NEWater adalah air yang diproses dari efluen sekunder dari pusat pengolahan air limbah perkotaan dengan proses filtrasi ganda menggunakan membran ultra filtrasi dan membran reverse osmosis serta teknologi ultraviolet untuk proses disinfeksi. Hasil air olahan merupakan air dengan kualitas yang tinggi yang dapat digunakan sebagai sumber air baku air minum. NEWater dicampur dengan air reservoir selanjutnya diolah dengan proses konvensional menghasilkan air minum. Cara ini dikenal dengan istilah "*Planned Indirect Potable Use*" (IPU).

Proyek NEWater Factory di Bedok dan Kranji Singapura beroperasi sejak akhir tahun 2002, dan sejak tahun 2003 NEWater telah disuplai ke Wafer Fabrication Plant di Woodland dan Tampines/Pasir Ris dan industri lain untuk digunakan untuk keperluan industri (*Non Potable Use*). Tahun 2004 telah dibangun NEWater Factory ke tiga di Seletar Water Reclamation Plant dan mulai mensuplai NEWater ke wafer fabrication plants di Ang Mo Kio. Total kapasitas dari ke tiga NEWater Factory di Singapura sampai saat ini adalah 92.000 m³ per hari (20 MGD).

4.1 Diskripsi NEWater Factory

NEWater Factory adalah pusat reklamasi air lanjut (*advanced water reclamation plant*) yang mengolah air efluen sekunder dari Bedok Water Reclamation Plant (dulu disebut Bedok Sewage Treatment Works) dengan

menggunakan teknologi kombinasi dual-membran yakni ultrafiltrasi dan reverse osmosis, dilanjutkan dengan disinfeksi menggunakan sistem ultraviolet. Unit pengolahan dibuat dalam bentuk yang kompak dengan kapasitas 10.000 m³ per hari.

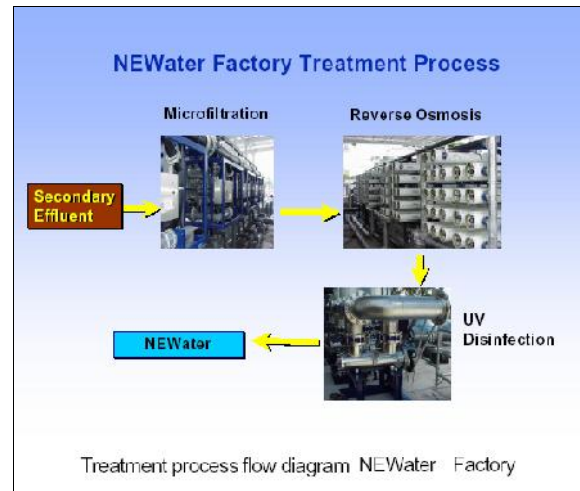
Air yang diolah berasal dari efluen sekunder atau air olahan dari pusat rekalmasi air limbah di Bedok yang mengolah air limbah perkotaan dengan proses lumpur aktif. Efluen sekunder tersebut mengandung zat organik dengan konsentrasi BOD 10 mg/l, TSS 10 mg/l, ammonia-nitrogen 6 mg/l, Total dissolved solids (TDS) 400-600 mg/l dan Total Organic Carbon (TOC) 12 mg/l.

Pertama, efluen sekunder dialirkan ke saringan mikro (*micro-screen*) dengan ukuran 0,3 mm, selanjutnya dilairkan ke unit ultra filtrasi yang dapat memisahkan padatan atau partikel dengan ukuran 0,2 µm. Selanjutnya dilanjutkan dengan proses demineralisasi dengan menggunakan membran reverse osmosis. Hasil dari proses Reverse osmosis dilakukan proses disinfeksi menggunakan irradiasi ultraviolet. Injeksi khlorine dilakukan di dua titik yakni sebelum dan sesudah Ultrafiltrasi untuk mencegah terjadinya pertumbuhan biofouling didalam sistem membran.

Unit Reverse Osmosis (RO) yang digunakan terdiri dari dua unit yang dipasang paralel masing-masing kapasitas 5000 m³ per hari. Jenis membrane RO yang digunakan adalah jenis thin-film composite dari bahan aromatic polyamide yang dirancang dengan recovery 80 -85 % dan dipasang seri tiga tahap. Unit proses disinfeksi terdiri dari tiga buah streilisator Ultra Violet (UV) yang dipasang seri dengan dosis 60 mJ/cm². Selanjutnya dilakukan kontrol pH dengan menambahkan soda ash. Produk hasil air olahan disebut NEWater. Digaram proses NEWater secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.

NEWater adalah merupakan produk dari proses reklamasi air limbah perkotaan yang dilakukan dengan pendekatan multi proses (*multiple barrier*) untuk menghilangkan polutan kimia maupun mikroorganisme patogen di dalam air. Proses yang pertama (*first barrier*) adakah proses pengolahan air limbah konvesional dengan sistem lumpur aktif yang secara global telah dipakai untuk pengolahan air limbah. Proses yang ke dua (*second barrier*) adalah tahap pertama dari proses NEWater yang dikenal dengan Mikro-Filtrasi (MF) atau Ultra Filtrasi (UF). Proses ini dilakukan dengan mengalirkan air melalui membran hollow fiber yang dapat menahan partikel dengan ukuran 0,2 – 0,01µm, sehingga dapat menghilangkan padatan tersuspensi, partikel koloid, bakteri,

amuba dan protozoa serta beberapa jenis virus. Air yang telah melewati membran UF sudah sangat jernih dan hanya mengandung garam terlarut dan molekul organik. Proses yang ke tiga (*third Barrier*) atau merupakan tahapan kedua proses NEWater dilakukan dengan Membrane Reverse Osmosis (RO).



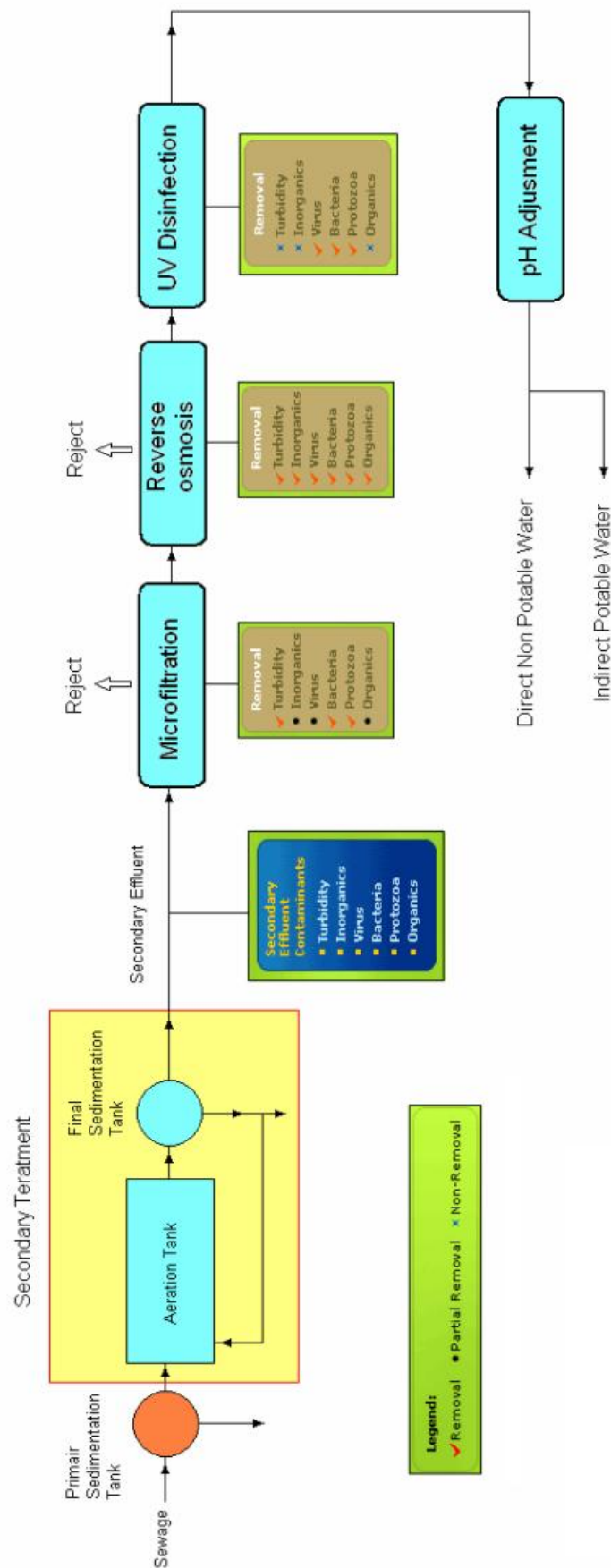
Gambar 11 : Digaram proses pengolahan NEWater Factory, Singapore.

RO adalah membran semi permeabel yang mempunyai pori dengan ukuran sangat kecil (0,0001µm) yang hanya dapat melewatkan molekul yang sangat kecil misalnya molekul air. Oleh karena itu kontaminan yang tidak diharapkan seperti bakteri, virus, logam berat, nitrat, khlorida, sulfat, senyawa hasil samping disinfektan, hidrokarbon aromatik, pestisida dan lainnya tidak dapat melewati membran. Oleh karena itu NEWater adalah merupakan air RO yang bebas bakteri dan virus serta hanya mengandung garam serta zat organik dengan konsentrasi yang sangat rendah atau bahkan nol. Pada tahap ini air olahan sudah mempunyai kualitas yang sangat bagus. Proses ke empat (*fourth barrier*) atau merupakan tahap ke tiga proses produksi NEWater, adalah merupakan proses pengaman (*safety backup*) untuk unit RO. Pada tahap ini dilakukan disinfeksi dengan sistem ultraviolet untuk memastikan bahwa seluruh mikroorganisme dapat dimatikan dan air olahan dapat dijamin kualitasnya.

4.2 Operasioal NEWater Factory

4.2.1 Umum

NEWater Factory, Bedok dioperasikan sejak bulan Mei tahun 2000, dan secara kontinyu dipantau unjuk-kerjanya (*performance*) dan dibandingkan dengan spesifikasi disainnya.



Gambar 12 : Pendekatan " Multiple Barrier" untuk penghilangan polutan kimia dan mikro-organisme patogen, NEWater, Singapura.

Perbandingan antara performance dengan spesifikasi disain terhadap beberapa parameter misalnya pH, penghilangan TOC, penghilangan amoniak, Penghilangan TDS dan kekeruhan, konsidi aktualnya sesuai atau lebih baik dari yang direncanakan. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 : Perbandingan kondisi performance aktual terhadap spesifikasi disain NEWater.

Design Specification versus Actual Performance		
Paramater	Specified/Design	Actual
pH	None	5,9
TOC Removal (%)	> 97	> 99
Ammonia Removal (%)	> 90	> 94
TDS Removal (%)	> 97	> 97
MF Filtrate Turbidity (NTU)	≤ 0.1	≤ 0.1

4.2.2 Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi NEWater Factory dapat mencapai sesuai dengan kapasitas disain yaitu 10.000 m³ per hari.

4.2.3 Laju Recovery Air

Recovery air untuk membran RO dioperasikan dalam selang antara 80 – 82 %. Pengalaman operasional menunjukkan dengan selang recovery tersebut merupakan kondisi yang optimal untuk kontrol fouling organik terhadap membran RO, yang berdampak terhadap penurunan frekwensi pencucian membran.

Untuk unit ultra filtrasi (UF) laju recovery 84 – 90 % , lebih rendah dibandingkan dengan disainya yakni ≥ 90 % , dengan recovery rata-rata 87 %.

4.2.4 Konsumsi Listrik

Konsumsi listrik (*power consumption*) untuk proses produksi NEWater selama operasi bervariasi antara 0,7 – 0,9 kWh/M³. Hal ini lebih rendah dari spesifikasi disain 1,2 kWh/M³.

4.2.5 Kualitas Feed Water (Efluen sekunder)

Konduktivitas

Jika konduktivitas efluen sekunder yang akan diolah dengan proses daur ulang meningkat maka kapasitas produksi akan menurun dan konduktivitas air olahan (NEWater) akan meningkat. Dengan menggunakan proses membran ultra filtrasi dan membran RO, dapat meminimalkan dampak fluktuasi yang tinggi dari konduktivitas air yang akan diolah.

Kekeruhan

Berdasarkan pengalaman operasi dari NEWater didapatkan hasil bahwa proses ultra filtrasi mengolah air dengan kekeruhan lebih besar 20 NTU tanpa berpengaruh terhadap kualitas hasil olahan. Dengan kekeruhan di bawah 2 NTU prese recovery minimal dapat mencapai 90 %, sedangkan dengan kekeruhan > 10 NTU persen recovery harus lebih kecil 84 %.

4.2.6 Operasional Unit Ultra Filtrasi.

Pencucian membran Ultra Filtrasi dilakukan dengan frekwensi 13,4 hari. Lebih lama dibandingkan dengan spesifikasi disainnya yakni 10 hari per pencucian per unit.

4.2.7 Operasional RO

Pencucian membran RO dilakukan dengan interval enam bulan untuk stage 1 dan lebih dari tiga bulan untuk stage 2 dan stage 3. Hal ini lebih baik dari pada kriteria disain yakni 60 hari.

4.2.8 Operasional UV

Virus, bakteri dan parasit dapat dihilangkan setelah proses dengan membran reverse osmosis. Disinfeksi dengan ultraviolet dilakukan sebagai pengamanan terhadap kontaminasi mikrobiologi. Sistem ultraviolet pada NEWater dirancang dengan efisiensi inaktivasi mikroba sampai 99,99 %. Dari hasil pengalaman operasional efisiensi inaktivasi pada NEWater Factory dapat mencapai 99,99999 %.

4.3 Sampling dan Monitoring

Selama operasional NEWater Factory sampai tahun 2002 telah dilakukan sampling terhadap air sebelum dan sesudah diolah (produk). Total jumlah sample yang dianalisa sebanyak 190. Beberapa parameter yang diukur, jumlah serta lokasi sampling dapat dilihat pada Tabel 12. Hasil analisa dibandingkan dengan standar air minum USEPA, WHO dan PUB.

Dari seluruh hasil tes selama operasi, NEWater telah memenuhi standar air minum dari USEPA, dan WHO, kecuali pH. pH rata-rata NEWater berkisar 5,9 sedangkan untuk pH standar USEPA dan WHO 6,6 – 8,5 untuk alasan estetika dan pencegahan korosi. Akan tetapi pH NEWater akan naik sampai sekitar pH 7 setelah air didiamkan selama 2 – 3 jam. Hal ini disebabkan karena karbon dioksida yang ada di dalam air setelah RO keluar. Oleh karena itu di

dalam proses NEWater Factory. Beberapa parameter yang selalu terdeteksi di dalam sample dapat dilihat pada Tabel 13.

Hasil analisa parameter anorganik dan organik baik yang terdeteksi maupun yang tak terdeteksi serta konsentrasi bakteri total coli dan

feecal coli ditunjukkan seperti pada Tabel 14, 15, 16 serta Gambar 13.

Dari hasil tersebut secara kualitas, produk air olahan daur ulang air limbah NEWater Factory telah memenuhi standar air minum dari USEPA, WHO dan PUB.

Tabel 12 : Parameter yang diukur, jumlah serta lokasi sampling.

Total number of parameters measured versus sampling location							
		Sample Location					
Water Quality Parameter		Plant Feedwater (1)	MF Filtrate (2)	RO Permeate (3)	UV Effluent (4)	NEWater (5)	PUB Raw Water PUB Drinking Water
Physical		9	3	3	2	8	8 7
Inorganic	Disinfection By-products	6	1	2	1	6	6 6
	Inorganic - Other	39	2	32		39	38 39
Organic	Disinfection By-products	22		22		22	22 22
	Other Compounds	42				41	41 37
	Pesticides/Herbicides	50				50	50 50
	Radionuclides	6				6	6 6
	Wastewater Signature Compounds	4				4	4 4
	Synthetic & Natural Hormones	3	3	3		3	3 3
	Microbiological	10	9	7		10	9 3
Totals		191	18	69	3	189	187 177

Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.

Tabel 13 : Parameter fisika yang terdeteksi selama operasi NEWater Factory.

Summary of NEWater physical water quality parameters with detectable results									
		Standard/Guideline					Number of Results		
Parameter	Units	USEPA	WHO	Mean*	Min.*	Max.*	Total	Detectable	Not Detectable
pH	Units	6.5-8.5	6.5-8.5	5.9	5.3	6.7	98	96	0
Temperature	°C	-	-	29.6	26.4	30.9	7	7	0
Total dissolved solids (TDS)	mg/L	500	1,000	48.3	11	118	95	95	0
Turbidity	NTU	5	5	NC	ND	0.4	96	15	81
Conductivity	µS/cm	-	-	92.2	28.5	256	98	96	0
Suspended Solids	mg/L	-	-	NC	ND	0.6	94	1	93
UV 254 Absorbance	cm ⁻¹	-	-	NC	ND	0.011	96	6	90

*Notes:

1. NC – Not calculated.
2. ND – Not detectable (below detectable concentration).

Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.

Tabel 14: Hasil Analisa hasil olahan NEWater Factory

Summary of NEWater inorganic water quality parameters with detectable results									
		Standard/Guideline					Number of Results		
Parameter	Units	USEPA	WHO	Mean ^a	Min. ^a	Max. ^a	Total	Detectable	Not Detectable
Chlorine (Total as Cl ₂)	mg/L	-	5	1.39	0.01	2.6	96	96	0
Chlorite	mg/L	-	0.2	NC	ND	0.15	87	1	86
Iodine	mg/L	-	-	0.06	0.01	0.15	60	60	0
Monochloramine (as Cl ₂)	mg/L	-	3	0.9	ND	2	87	80	7
Aluminium (total)	mg/L	0.05-0.2	0.2	NC	ND	0.12	21	5	16
Ammonia (as N)	mg/L	-	1.5	0.51	ND	2.14 ^a	83	71	12
Asbestos	fibres/L	7 million	-	NC	ND	210,000	7	1	6
Barium	mg/L	2	0.7	NC	ND	0.017	21	1	20
Boron	mg/L	-	0.5	0.06	ND	0.149	23	20	3
Cadmium	mg/L	0.005	0.003	NC	ND	0.0002	21	1	20
Chloride	mg/L	250	250	14.34	2.57	47.8	28	28	0
Copper	mg/L	1.3	2	NC	ND	0.003	21	1	20
Fluoride	mg/L	4	1.5	0.16	0.04	0.41	28	28	0
Iron	mg/L	0.3	0.3	NC	ND	0.009	28	5	23
Lead	mg/L	0.015	0.01	NC	ND	0.002	21	4	17
Molybdenum	mg/L	-	0.07	NC	ND	0.018	21	1	20
Nickel	mg/L	-	0.02	NC	ND	0.013	21	1	20
Nitrate (as N)	mg/L	10	11.3	2.01	0.02	5.4	44	44	0
Nitrite (as N)	mg/L	1	0.91	NC	ND	0.38	28	8	20
Sodium	mg/L	-	200	13.35	3.16	42.1	28	28	0
Sulphate	mg/L	250	250	0.15	ND	0.54	28	22	6
Thallium	mg/L	0.002	-	NC	ND	0.0018	21	3	18
Zinc	mg/L	5	3	NC	ND	0.041	21	2	19
Calcium	mg/L	-	-	0.17	0.044	0.514	21	21	0
Potassium	mg/L	-	-	1.08	0.504	3.07	10	10	0
Silica (SiO ₂)	mg/L	-	-	0.88	ND	4.95	17	15	2
Strontium (Sr ²⁺)	mg/L	-	-	NC	ND	0.021	21	3	18
Total Alkalinity	mg/L	-	-	8.63	5	16	21	21	0
Total Nitrogen	mg/L	-	-	3.28	ND	11	20	19	1
Total Phosphorous	mg/L	-	-	0.03	ND	0.084	21	19	2
Magnesium	mg/L	-	-	0.13	0.03	0.45	10	10	0

^a An outlier one out of 83 determinations. Not statistically significant.

*Notes:

1. NC – Not calculated.
2. ND – Not detectable (below detectable concentration).
3. Original monochloramine values have been converted to mg/L as chlorine.

Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.

Tabel 15 : Senyawa organik yang tidak terdeteksi di dalam NEWater selama sampling air olahan.

▪ Chloropicrin	▪ 1,3-Dichlorobenzene
▪ Cyanogen chloride (as cyanide)	▪ 1,4-Dichlorobenzene
▪ Chloral Hydrate (trichloroacetaldehyde)	▪ 1,2,4-Trichlorobenzene
▪ Chloroacetic acid	▪ Trichlorobenzenes (total)
▪ Dichloroacetic acid (DCAA)	▪ Carbon Tetrachloride
▪ Trichloroacetic acid (TCAA)	▪ Dichloromethane (methylene chloride)
▪ 2-chlorophenol	▪ 1,1-Dichloroethane
▪ 2,4-dichlorophenol	▪ 1,2-Dichloroethane
▪ 2,4,6-Trichlorophenol	▪ 1,1,1-Trichloroethane
▪ Dichloroacetonitrile	▪ 1,1,2-Trichloroethane
▪ Trichloroacetonitrile	▪ 1,1-Dichloroethene
▪ Dibromoacetonitrile	▪ 1,2-Dichloroethene (cis & trans)
▪ Bromochloroacetonitrile	▪ Tetrachloroethene
▪ Acrylamide	▪ Vinyl Chloride
▪ Epichlorohydrin	▪ Tributyltin oxide
▪ Hexachlorobutadiene	▪ Di(2-ethylhexyl) phthalate
▪ Microcystin-LR	▪ Di(2-ethylhexyl) adipate
▪ Polychlorinated biphenyls (PCBs)	▪ Benzo(a)pyrene
▪ Benzene	▪ Dioxin (2,3,7,8-TCDD)
▪ Ethylbenzene	▪ Haloacetic Acids (HAA5)
▪ Styrene	▪ MTBE
▪ Toluene	▪ Mirex
▪ Xylenes (total)	▪ Furan (2,3,7,8-TCDF)
▪ Chlorobenzene	▪ Haloacetic Acids (HAA7)
▪ 1,2-Dichlorobenzene	

Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.

Tabel 16 : Senyawa organik yang kadang-kadang terdeteksi di dalam air NEWater.

Summary of NEWater organic compounds with detectable results									
		Standard/Guideline					Number of Results		
Parameter	Units	USEPA	WHO	Mean*	Min.*	Max.*	Total	Detectable	Not Detectable
Total Trihalomethanes (THM's)	µg/L	80	R<1 (see notes below)	NC	ND	86.5 ^a	53	1	52
Bromodichloromethane	µg/L	-	60	NC	ND	7.9	53	4	49
Bromoform (CHBr ₃)	µg/L	-	100	NC	ND	48.3	53	1	52
Chloroform (CHCl ₃)	µg/L	-	200	NC	ND	5	53	1	52
Dibromochloromethane	µg/L	-	100	NC	ND	25	53	4	49
Chlorinated furanones (MX)	ng/L	-	-	NC	ND	8	41	10	31
Formaldehyde	µg/L	-	900	18.45	ND	75.9	87	73	14
Trichloroethene	µg/L	5	70	NC	ND	46.72 ^b	16	1	15
Dialkyltins	ng/L	-	-	NC	ND	6.5	14	1	13
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L	-	-	0.19	ND	0.74	96	71	25
Dissolved Organic Carbon (DOC)	mg/L	-	-	0.16	ND	0.59	96	71	25
Biodegradable Organic Carbon (BDOC)	mg/L	-	-	NC	ND	0.19	11	4	7
CCD	mg/L	-	-	NC	ND	5	96	1	95
Organic Nitrogen	mg/L	-	-	1.08	ND	2.4	20	14	6

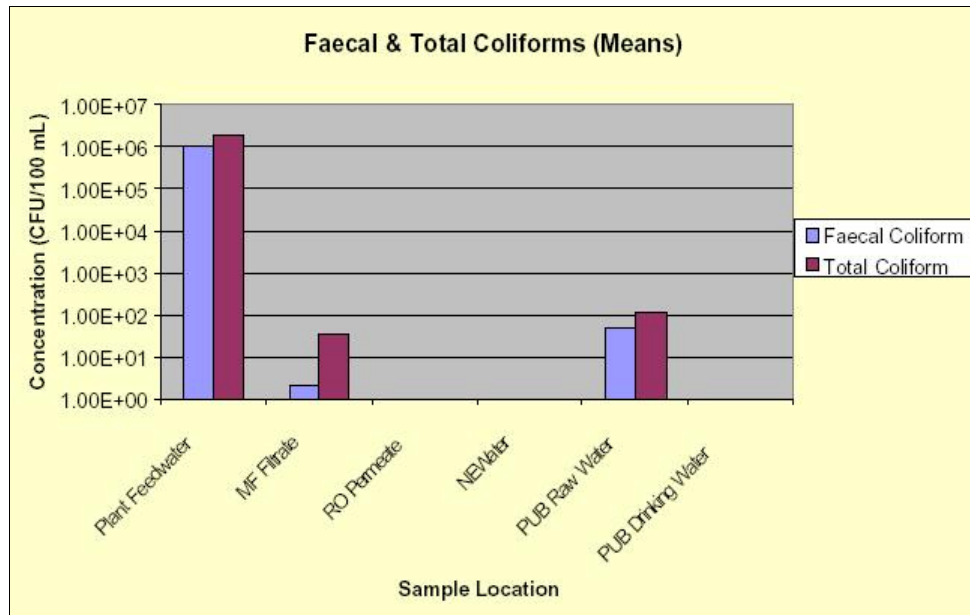
^a An outlier one out of 53 determinations. Not statistically significant.

^b An outlier one out of 16 determinations. Not statistically significant.

*Notes:

1. NC – Not calculated.
2. ND – Not detectable (below detectable concentration).
3. WHO defines "R" as the sum of the ratios of five organic compounds with their respective guideline limits.

Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.



Sumber : Expert Panel Review and Finding, June 2002.

Gambar 13 : Konsentrasi bakteri coli dan feecal coli di dalam

V. PENUTUP

Dari seluruh pembahasan seperti tersebut di atas masalah reklamasi dan daur ulang air limbah untuk digunakan sebagai alternatif suplai air bersih secara teknologi sangat memungkinkan. Yang menjadi kendala utama saat ini adalah masalah ekonomi yakni apakah biaya pengolahan atau harga air hasil reklamasi bisa lebih murah dibandingkan dengan harga air bersih yang berasal dari sumber air tawar. Selama harga air bersih yang berasal dari air tawar harganya lebih murah maka daur ulang air limbah untuk keperluan air bersih sulit dilaksanakan. Selain masalah ekonomi masalah yang tidak kalah penting adalah aspek penerimaan masyarakat ditinjau dari segi estetika.

Oleh karena itu daur ulang air limbah yang paling mungkin saat ini adalah untuk penggunaan yang bukan untuk air minum (*non potable reuse*), misalnya untuk air pendingin, air irigasi dan landsekap, pemadam kebakaran, air siram taman dll. Untuk kondisi di Indonesia daur ulang air limbah untuk skala besar mungkin masih belum memungkinkan mengingat fasilitas reklamasi atau pusat pengolahan air limbah perkotaan yang masih belum memadai. Sebagai contoh misalnya Jumlah air limbah di DKI Jakarta sekitar 1.300.000 m³/hari, sedangkan fasilitas pengolahan air limbah perkotaan hanya sekitar 2,5 %. Itupun masih menggunakan teknologi aerated lagoon yang efisiensi pengolahannya sangat rendah.

Untuk skala yang kecil, daur ulang air limbah sangat memungkinkan terutama untuk keperluan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- ----, "Gesuidou Shisetsu Sekkei Shisin to Kaisetsu", Nihon Gesuidou Kyoukai, 1984.
- ----, "Pekerjaan Penentuan Standard Kualitas Air Limbah Yang Boleh Masuk Ke Dalam Sistem Sewerage PD PAL JAYA", Dwikarasa Envacotama-PD PAL JAYA, 1995.
- Abel. P.D. 1989. *"Water Pollution Biology"*, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, England.
- APHA (American Public Health Association) 1985. *"Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water"*. Washington, D.C.1462 p.
- Dinas Pertambangan DKI Jakarta, Kerawanan Kekeringan Air Tanah Dangkal Di Wilayah Propinsi DKI Jakarta, Materi Rapat Satkorlak DKI mengenai kekeringan, 2003.
- Djoko Pitono, Sumbangan Brantas Untuk Pembangunan Berkelanjutan, disajikan dalam Seminar Sistem Monitoring Pencemaran Lingkungan Sungai dan Teknologi Pengelolaannya, Hotel Panghegar, Bandung, 8-9 Juli 2003, Penyelenggara PPET, LIPI, 2003.

- Fair, Gordon Maskew et.al., " Elements Of Water Supply And Waste Water Disposal", John Willey And Sons Inc., 1971.
- Gabriel Bitton. 1994. "Wastewater Microbiology", A John Wiley & Sons, INC., New York.
- Gouda T., " Suisitsu Kougaku - Ouyouben", Maruzen kabushiki Kaisha, Tokyo, 1979.
- HIKAMI, Sumiko., "Shinseki rosohou ni yoru mizu shouri gijutsu (Water Treatment with Submerged Filter)", Kougyou Yousui No.411, 12,1992.
- JICA, The Studi On Urban Drainage and Wastewater Disposal Project in The City of Jakarta, Jica, 1990.
- Jica, The Study On Urban Drainage and Waste Water Disposal Project In The City Of Jakart 1990.
- Metcalf And Eddy, " Waste Water Engineering", Mc Graw Hill 1978.
- Nusa Idaman, Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup, JTL, DTL, BPPT, 2000.
- Roestam Sjarief, Air ... Berjuta Penduduk Jakarta Memerlukannya, Seminar Lingkungan Hidup Tahun 2003, pada tanggal 28 Agustus 2003, di selenggarakan oleh BPLHD Jakarta, 2003.
- Singapore Water Reclamation Study, Expert Panel Review And Findings, June 2002.
- Sueishi T., Sumitomo H., Yamada K., dan Wada Y., " Eisei Kougaku " (Sanitary Engineering), Kajima Shuppan Kai, Tokyo, 1987.
- Sutopo Purwo Nugroho, Pengelolaan DAS dan Sumberdaya Air yang Berkelanjutan, Peluang dan Tantangan Pengelolaan Sumberdaya Air di Indonesia, hal 165., 2002
- Viessman W, JR., Hamer M.J., " Water Supply And Polution Control ", Harper & Row, New York,1985.

Tabel 7 : Parameter Perencanaan Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biologis Aerobik.

JENIS PROSES		BEBAN BOD		MLSS (mg/l)	Q _A /Q	T (Jam)	EFISIENSI PENGHILANGAN BOD (%)
		BOD kg/kg SS.d	BODkg/m ³ .d				
PPROSES BIOMASA TERSUSPENS	Lumpur Aktif Standar	0,2 - 0,4	0,3 - 0,8	1500 - 2000	3 - 7	6 - 8	85 - 95
	Step Aeration	0,2 - 0,4	0,4 - 1,4	1000 - 1500	3 - 7	4 - 6	85 - 95
	Modified Aeration	1,5 - 3,0	0,6 - 2,4	400 - 800	2 - 2,5	1,5 - 30	60 - 75
	Contact Stabilization	0,2	0,8 - 1,4	2000 - 8000	≥ 12	≥ 5	80 - 90
	High Rate Aeration	0,2 - 0,4	0,6 - 2,4	3000 - 6000	5 - 8	2 - 3	75 - 90
	Pure Oxygen Process	0,3 - 0,4	1,0 - 2,0	3000 - 4000	-	1 - 3	85 - 95
	Oxidation Ditch	0,03 - 0,04	0,1 - 0,2	3000 - 4000	-	24 - 48	75 - 95
	Extended Aeration	0,03 - 0,05	0,15 - 0,25	3000 - 6000	≥ 15	16 - 24	75 - 95
PROSES BIOMASA MELEKAT	Trickling Filter	-	0,08 - 0,4	-	-	-	80 - 95
	Rotating Biological Contactor	-	0,01 - 0,3	-	-	-	80 - 95
	Contact Aeration Process	-	-	-	-	-	80 - 95
	Biofilter Unaerobic	-	-	-	-	-	65 - 85

CATATAN : Q : Debit Air Limbah (M³/day) Q_r : Return Sludge (M³/day) Q_A : Laju Alir Suplai Udara (M³/day)

Tabel 9 : Unit proses atau unit operasi yang digunakan untuk proses daur ulang air limbah serta kontaminan potensial yang dapat dihilangkan.

KONTAMINAN AIR LIMBAH	Unit Proses atau Unit Operasi																	
	Penolakan Primer	Lumpur Aktif	Nitrifikasi	Denitrifikasi	Trickling Filter	RBC	Kogulasi –Flokulasi - Sedimentasi	Filtrasi Setelah Proses Lumpur Aktif	Adsorpsi Dg Karbon Aktif	Ammonia Stripping	Pertukaran Ion Selektif	Khlorinasi Break Point	Reverse Osmosis	Overland Flow	Irigasi	Infiltrasi - Perkolasi	Khlorinasi	Ozon
BOD	x	+	+	O	+	+	+	X	+		X		+	+	+	+		O
COD	x	+	+	O	+	+	+	X	X	O	X		+	+	+	+		+
TSS	+	+	+	O	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+		
NH ₃ -N	O	+	+	X		+	O	X	X		+	+	+	+	+	+		
NO ₃ -N				+				X	O					X				
Phospor	O	X	+	+			+	+	+				+	+	+	+		
Alkalinitas		X					X	+								X		
Minyak dan Grease	+	+	+				X		X					+	+	+		
Total Coliform		+	+		O		+		+			+		+	+	+	+	+
TDS																		
Arsen (As)	X	X	X				X	+	O									
Barium (Ba)		X	O				X	O										
Cadmium (Cd)	X	+	+		O	X	+	X	O									
Chromium (Cr)	X	+	+		O	+	+	X	X									
Tembaga (Copper)	X	+	+		+	+	+	O	X									
Fluoride							X		O									
Besi (Iron)	X	+	+		X	+	+	+	+									
Lead (Pb)	+	+	+		X	+	+	O	X									

Tabel 9 : Unit proses atau unit operasi yang digunakan untuk proses daur ulang air limbah serta kontaminan potensial yang dapat dihilangkan (lanjutan)

	Unit Proses atau Unit Operasi																	
KONTAMINAN AIR LIMBAH	Penolahan Primer	Lumpur Aktif	Nitrifikasi	Denitrifikasi	Trickling Filter	RBC	Kogulasi –Flokulasi - Sedimentasi	Filtrasi Setelah Proses Lumpur Aktif	Adsorpsi Dg Karbon Aktif	Ammonia Stripping	Pertukaran Ion Selektif	Khlorinasi Break Point	Reverse Osmosis	Overland Flow	Irigasi	Infiltrasi - Perkolasi	Khlorinasi	Ozon
Mangan (Mn)	O	X	X		O		X	+	X				+					
Merkuri (Hg)	O	O	O		O	+	O	X	O									
Selenium (Se)	O	O	O				O	+	O									
Perak (Silver, Ag)	+	+	+		X		+		X									
Zinc (Zn)	X	X	+		+	+	+		+							+		
Warna (Color)	O	X	X		O		+	X	+				+	+	+	+		+
Foaming Agent (deterjen)	X	+	+		+		X		+				+	+	+	+		O
Kekeruhan (turbidity)	X	+	+	O	X		+	+	+				+	+	+	+		
TOC	X	+	+	O	X		+	X	+	O	O		+	+	+	+		+

Simbol :

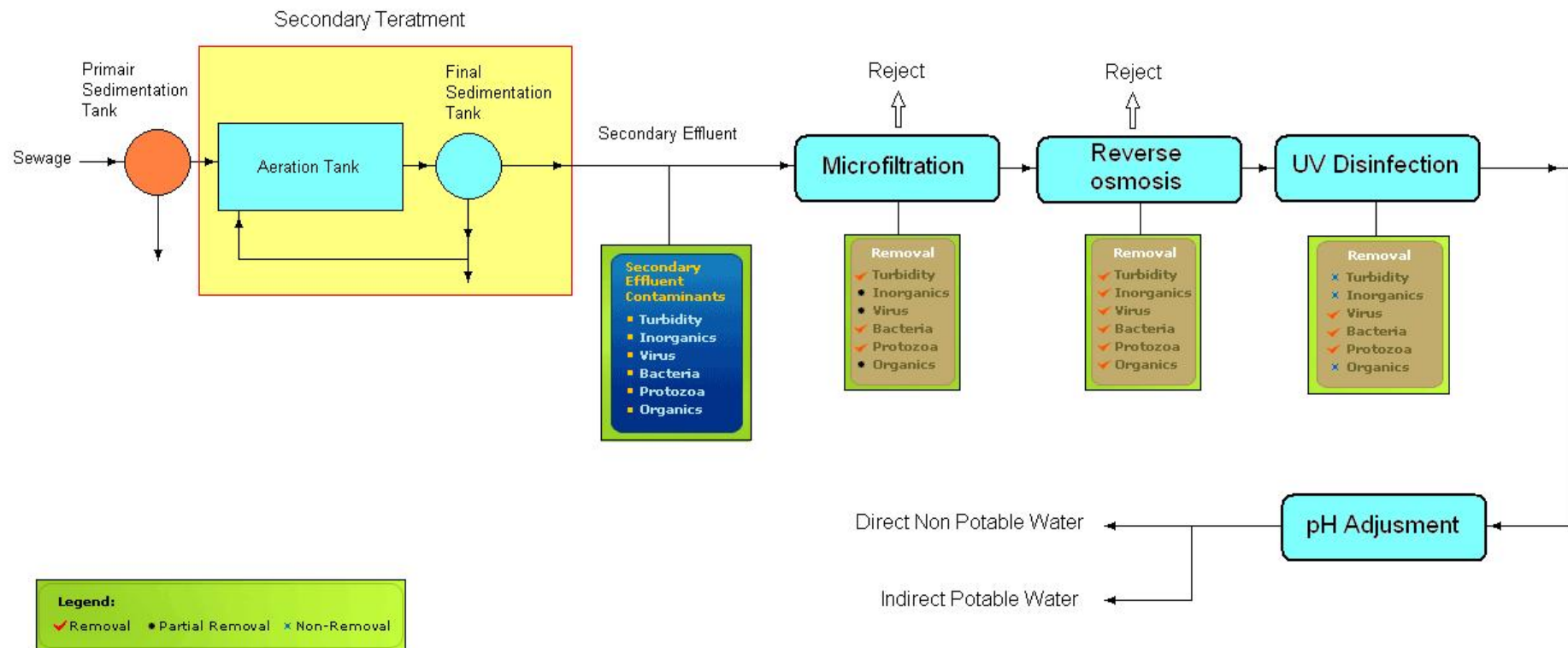
O = Penghilangan konsentrasi influent 25 %.

X = Penghilangan konsentrasi influent 25 – 50 %.

+ = Penghilangan konsentrasi influent > 50 %.

blank = tidak ada data.

Sumber : Metcalf and Eddys,



Gambar 12 : Pendekatan " Multiple Barrier" untuk penghilangan polutan kimia dan mikro-organisme patogen, NEWater, Singapura.